



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Faculdade de Engenharia

# **Controlo da qualidade do polimento de artigos metálicos de luxo: - Influência da microestrutura**

**João António Miguel Pinheiro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Abílio Pereira da Silva

Coorientadora: Doutora Ana Paula Ascensão Rosa Gomes

**Covilhã, outubro de 2016**



# Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e namorada pelo apoio e dedicação demonstrado ao longo deste difícil percurso, mas compensatório.

Por fim, dedicar a duas pessoas muito especiais que já não estão entre nós, o meu tio e o meu avô, na qual seria um orgulho para eles a conclusão da minha tese, por isso, a vós vos dedico especialmente este meu esforço.



# Agradecimentos

Para que este trabalho se tenha realizado com sucesso foi necessário o envolvimento de diversas pessoas, deste modo, queria agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor Abílio Pereira da Silva, pelas palavras de apoio, vontade de me fazer crescer profissionalmente, pelas longas horas de esforço dedicadas às alterações a realizar na dissertação e por fim, pela oportunidade que me proporcionou de colaborar diretamente com uma empresa.

Um especial agradecimento à minha coorientadora, a Doutora Ana Paula Ascensão Rosa Gomes, pelas imagens e análises microscópicas realizadas no centro de ótica da Universidade da Beira Interior.

Agradecer à empresa F.P.L - Fábrica de Produtos de Luxo sediada no Fundão, distrito de Castelo Branco, pela oportunidade de estágio curricular e disponibilidade de produtos para análise.

Ao Professor Doutor António Mendes e ao Sr. António Morgado agradeço pela disponibilidade do rugosímetro e auxílio nas análises realizadas.

Por fim, agradecer aos demais envolventes nesta longa caminhada, direta ou indiretamente, família, amigos e namorada, por todos os momentos passados.



# Resumo

O processamento, conformação e tratamentos superficiais do cobre e as suas ligas metálicas são de extrema importância na engenharia industrial derivado às suas características físicas e químicas, tais como, alta condutividade elétrica, elevada resistência à corrosão, facilidade na sua fabricação, boa resistência à tração e ainda boas propriedades de recozimento e solda sem existirem custos muito elevados quando comparado com metais de características idênticas, neste caso concreto, é analisada a indústria de transformação de produtos de luxo.

Esta dissertação resulta de um estágio curricular desenvolvido na empresa F.P.L - Fábrica de Produtos de Luxo, que consistiu na análise das superfícies das peças metálicas durante as diferentes etapas do processo de polimento desenvolvido na empresa, através do microscópio eletrônico de varrimento e conseqüentemente avaliar a qualidade da microestrutura das mesmas.

Para este estudo analítico foram utilizadas 4 referências diferentes de produtos, designados por produto A, B, C e D, na qual a composição geral se baseia num latão do tipo 60:40, sendo a liga metálica constituída por 60% de Cu (cobre) e 40% de Zn (zinco), concentração essa, que é fornecida pelo fabricante das peças.

As análises foram realizadas em diferentes etapas do processo de transformação, desde que as peças chegam à fábrica em bruto até que estejam prontas a ser enviadas para o cliente. Os três processos analisados foram: peça em bruto (quando chega à empresa sem qualquer tipo de tratamento prévio), peça lapidada (fase em que se utilizam lixas de diferentes rugosidades de forma a retirar o “bruto” da peça, para tornar o polimento final mais rápido e eficaz) e por fim, a peça polida e lavada (fase em que a peça está pronta a ser analisada no controlo da qualidade da empresa e caso cumpra os requisitos é expedida para o cliente).

Das análises efetuadas às etapas de polimento de diferentes peças observou-se que o polimento contribui para a melhoria da qualidade superficial reduzindo significativamente a rugosidade das peças (após o polimento, a rugosidade deverá ser inferior a  $0,10\mu\text{m}$ ), eliminar manchas, riscos e pontos duros. Mesmo com ações mecânicas de polimento mais severas, devido à geometria mais complexa de algumas peças, não surgiram defeitos localizados nessas zonas.

## Palavras-chave

Latão; Microestrutura; Rugosidade; Diagramas de fases; Lapidção; Polimento; Controlo de qualidade.



# Abstract

The processing, conformation and superficial treatments of copper and its metallic alloys reveal an extreme significance in the field of industrial engineering, due to its physical and chemical attributes, such as high electric conductivity and corrosion resistance, easiness in its fabrication, decent tensile strength levels, and even favorable characteristics to the annealing and welding.

Due to the absence of high machination costs, when compared to metals with similar features, as it is presented in this particular study, an analysis is made comprising the current processes in the luxury products transformation industry.

This dissertation results from a developed curricular training in the company “*F.P.L - Fábrica de Produtos de Luxo*”, which consisted in the surface analysis of metallic parts during the different stages of the burnishing process developed in the firm, though the use of an electronic scanning microscope, for subsequent microstructure quality evaluation.

In order to complete this analytical study, 4 different references of products were used, designated by product A, B, C and D, in which the general composition is based on 60:40 type brass, whose metallic alloy is composed by 60% of Cu (Copper) and 40% of Zn (Zinc), being these values of concentration supplied by the parts manufacturer.

The analyses were taken into account at different stages of the transformation process, since their arrival at the plant, in raw state, until they are ready to be sent for the costumer. The three analyzed processes were: raw part (when it arrives at the company without any type of prior treatment), engraved part (phase when there are used sandpapers of different roughness in order to minimize the part’s abnormalities and harshness level) and finally, the polished and washed part (phase where the latter is ready to be analyzed in the company’s quality control department and, in the case that it fulfills the requirements, is forwarded to the costumer).

From the accomplished analyses made respecting the burnishing stages of the different parts, it was observed that this process contributed to the general improvement of the superficial quality, significantly reducing the part’s roughness (after burnishing, this parameter will have to be inferior than  $0,10\mu\text{m}$ ), eliminating stains, scratches and hard points. Even with the use of harsher mechanical burnishing activities, motivated by the higher complexity of some parts, the appearance of local faults was not verified.

## Keywords

Brass, Microstructure; Roughness; Phase Diagrams; Abrasion; Polishing; Quality Control.



# Índice

Dedicatória .....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract .....	ix
Índice .....	xi
Lista de figuras .....	xv
Lista de tabelas.....	xvii
Lista de acrónimos.....	xix
Lista de símbolos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento .....	2
2. Metais e suas propriedades.....	3
2.1 Propriedades dos metais .....	4
2.2.1 Dureza .....	4
2.2.2 Tenacidade .....	4
2.2.3 Maquinabilidade .....	4
2.2.4 Fluência .....	5
2.2.5 Viscoelasticidade .....	5
3. Cobre e suas ligas.....	7
3.1 Produção do cobre .....	7
3.2 Cobre e suas ligas.....	8
4. Ligas de latão .....	11

4.1	Composição química do latão .....	11
4.2	Influência dos elementos de liga nos latões .....	13
4.3	Dezincificação .....	16
4.4	Latões com e sem chumbo .....	17
5.	Tratamento Superficial .....	19
5.1	Pontos duros .....	20
5.2	Principais riscos da indústria do polimento .....	21
5.2.1	Soldadura de componentes das peças .....	22
5.2.2	Lapidação .....	22
5.2.3	Polimento .....	23
5.2.4	Lavagem.....	23
6.	Metodologia e análise de resultados.....	25
6.1	Peças analisadas .....	25
6.2	Análises realizadas - SEM .....	28
6.2.1	Peça A - Análise no SEM .....	28
6.2.2	Peça A - Composição química .....	30
6.2.3	Peça B - Análise no SEM .....	31
6.2.4	Peça B - Composição química .....	36
6.2.5	Peça C - Análise no SEM .....	37
6.2.6	Peça C - Composição química .....	38
6.2.7	Peça D .....	39
6.3	Rugosidade .....	41
6.3.1	Peça A - Rugosidade .....	42
6.3.2	Peça D - Rugosidade .....	45

7. Conclusão .....	47
7.1 Considerações finais .....	47
7.2 Propostas de trabalhos futuros .....	47
7.3 Trabalhos realizados na empresa .....	48
Referências.....	49



# Lista de figuras

Figura 1 - Microestrutura característica da liga bifásica do latão (Moreira 2010).....	11
Figura 2 - Diagrama de fases Cu-Zn em percentagem mássica (William F. Smith 1993). ....	12
Figura 3 - Zona de dezincificação na liga de latão (Seungman 2005). ....	16
Figura 4 - Exemplo da presença de impurezas na superfície da peça (Moreira 2010). ....	20
Figura 5 - Peça A (observam-se 2 regiões analisadas). ....	26
Figura 6 - Peça B, região 1. ....	26
Figura 7 - Peça B, região 2. ....	27
Figura 8 - Peça C, região 1. ....	27
Figura 9 - Peça C, região 2. ....	27
Figura 10 - Peça D, região 1. ....	28
Figura 11 - Microestrutura da peça A no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	29
Figura 12 - Microestrutura da peça A no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. ....	29
Figura 13 - Microestrutura da peça A no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	29
Figura 14 - Microestrutura da peça B no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	31
Figura 15 - Microestrutura da peça B no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. ....	32
Figura 16 - Microestrutura da peça B no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	32
Figura 17 - Distribuição do cobre na superfície da região 1 da peça B no estado bruto. ....	33
Figura 18 - Distribuição do zinco na superfície da região 1 da peça B no estado bruto. ....	33
Figura 19 - Distribuição do oxigénio na superfície da região 1 da peça B no estado bruto. ....	33

Figura 20 - Distribuição do carbono na superfície da região 1 da peça B no estado bruto. ....	34
Figura 21 - Distribuição do cobre na superfície da região 2 da peça B no estado bruto. ....	34
Figura 22 - Distribuição do zinco na superfície da região 2 da peça B no estado bruto.....	34
Figura 23 - Distribuição do oxigénio na superfície da região 2 da peça B no estado bruto. ....	35
Figura 24 - Distribuição do carbono na superfície da região 2 da peça B no estado bruto. ....	35
Figura 25 - Microestrutura da peça C no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	37
Figura 26 - Microestrutura da peça C no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. ....	37
Figura 27 - Microestrutura da peça C no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x. .....	38
Figura 28 - Microestrutura da superfície da peça D no estado polido com ampliações de 150x (A) e 750x (B) respetivamente. ....	40
Figura 29 - Exemplo de um perfil de rugosidade (xxxx). ....	41
Figura 30 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2. ....	42
Figura 31 - Perfil da rugosidade da Peça A na região 1. ....	42
Figura 32 - Perfil de rugosidade da peça A na região 1. ....	42
Figura 33 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2. ....	42
Figura 34 - Perfil de rugosidade da peça A na região 1. ....	43
Figura 35 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2. ....	43
Figura 36 - Rugosidade média da superfície da peça A nas regiões 1 e 2.....	43
Figura 37 - Rugosidade média da superfície da peça B nas regiões 1 e 2.....	44
Figura 38 - Rugosidade média da superfície da peça C nas regiões 1 e 2.....	44
Figura 39 - Perfil de rugosidade da peça D na região 1. ....	45

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Estruturas cristalinas típicas de metais (Adaptada: William F. Smith 1993).....	3
Tabela 2 - Designação das ligas metálicas do cobre para trabalho mecânico. ....	8
Tabela 3 - Designação das ligas metálicas do cobre para fundição. ....	9
Tabela 4 - Composição na região 1 da peça A (valores em percentagem mássica). ....	30
Tabela 5 - Composição na região 2 da peça A (valores em percentagem mássica). ....	30
Tabela 6 - Composição na região 1 da peça B (valores em percentagem mássica). ....	36
Tabela 7 - Composição na região 2 da peça B (valores em percentagem mássica). ....	36
Tabela 8 - Composição na região 1 da peça C (valores em percentagem mássica). ....	38
Tabela 9 - Composição na região 2 da peça C (valores em percentagem mássica). ....	39
Tabela 10 - Composição na região 1 da peça D (valores em percentagem mássica).....	40



## Lista de acrónimos

Al	Alumínio
CCC	Estrutura cúbica de corpo centrado
CDA	<i>Copper Development Association</i>
CFC	Estrutura cúbica de faces centradas
Cu	Cobre
Cu <sub>2</sub> O	Óxido de cobre
EDX	Espetroscopia de raios x de energia dispersiva ( <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> (EDX ou EDS ou XEDS))
EPI's	Equipamentos de proteção individual
Fe	Ferro
F.P.L.	Fábrica de Produtos de Luxo, Fundação
Ni	Níquel
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fósforo
Pb	Chumbo
R <sub>a</sub>	Rugosidade média
R <sub>p</sub>	Valor do pico mais alto do perfil de rugosidade
SEM	<i>Scanning electronic microscopy</i>
Si	Silício
Sn	Estanho
Zn	Zinco



## Lista de símbolos

$\alpha$  Alfa

$\beta$  Beta



# 1. Introdução

A presente dissertação tem por objetivo geral realizar o controle da qualidade do polimento de produtos de luxo através de uma análise da microestrutura da superfície das peças com recurso ao microscópio eletrônico de varrimento e sucessiva análise da rugosidade com recurso ao rugosímetro.

As propriedades metalúrgicas e mecânicas de uma liga metálica dependem essencialmente do processo usado para a sua produção/fabricação e dos respetivos parâmetros associados [1]. Neste trabalho a liga metálica estudada é o latão, liga essa que é fundamentalmente constituída por cobre e zinco.

Os latões representam o grupo mais utilizado entre as ligas de cobre, em que a sua produção é distinguida em diferentes operações como a preparação do molde, a fusão e o seu vazamento. Este tipo de liga possui uma enorme variedade de propriedades, incluindo a resistência mecânica, caracterizada pela sua boa ductibilidade, boa condutividade térmica e elétrica, resistência à corrosão/desgaste e boa resistência ao impacto [2].

No caso das indústrias de produtos de luxo, este material é o mais utilizado devido ao seu baixo custo de produção, facilidade em deformar-se plasticamente tanto a frio como a quente, boa resistência à corrosão e principalmente por permitirem tratamentos superficiais, tais como, a galvanoplastia, o recobrimento polimérico e possuírem brilho quando são polidos estabilizando a cor de um metal nobre.

O polimento é um processo mecânico de acabamento de uma determinada peça que visa tornar a superfície da mesma lisa e brilhante, ou seja, propicia uma boa qualidade de acabamento de um determinado produto. Este tipo de processo é normalmente realizado com recurso a diferentes tipos de discos/feltros (dependendo do estado/qualidade superficial da peça), revestidos com substâncias abrasivas que irão reagir com a superfície do material, desgastando-a até esta ficar homogénea, lisa e brilhante (efeito espelho) [3].

O ato de polir pode ser dividido em dois grandes grupos, o polimento manual e o polimento automatizado, em que ambos são realizados com lixas, feltros de polimento e substâncias abrasivas (pastas de polir), no entanto a grande diferença reside no tipo de processo [3]. O polimento automatizado consiste na colocação das peças em moldes apropriados e posterior tratamento da superfície por parte de uma máquina robotizada através de uma metodologia e sequência repetitiva. Por outro lado, o polimento manual, requer uma elevada dedicação por parte do polidor, pois depende dele boa parte da qualidade do produto final.

## 1.1 Enquadramento

De forma a que este estudo se torne conciso e compreensível para os demais, foi considerada a sua divisão em capítulos conforme descrito seguidamente:

Capítulo 2 - Nesta secção será referido uma breve introdução aos metais e as suas propriedades, identificando as estruturas cristalinas e possíveis aplicações na indústria.

Capítulo 3 - Destina-se a descrever o processo de produção do cobre e das suas ligas metálicas, as propriedades metalomecânicas, a sua aplicabilidade e os diferentes tipos de cobre consoante a sua forma de produção e composição química.

Capítulo 4 - Onde será referido e estudo da liga de latão, a composição química e será também descrita a diferença existente nas propriedades metálicas de latões com chumbo e sem chumbo bem como a influência da adição de outros metais à liga principal. Por fim, será também referido o fenómeno da dezincificação (perda de zinco da liga do latão).

Capítulo 5 - Explicação dos diferentes tipos de processos utilizados na indústria do polimento para tratamento superficial de produtos metálicos, nomeadamente a lapidação e o polimento, bem como as alterações ocorrentes ao longo deste processo de transformação com uso dos diagramas de fases correspondentes. Devido às alterações de temperaturas e outros fatores que influenciam o tratamento da superfície dos metais diretamente, serão analisados também os problemas principais consequentes deste tipo de processo, tais como, a existência de pontos duros e/ou fissuras na superfície metálica. Desta forma, como toda a atividade laboral está exposta a possíveis riscos de acidentes serão referidas medidas de prevenção para minimizar os fatores de risco acoplados a cada função principal na indústria do polimento, tais como: soldadura, lapidação, polimento e lavagem [4].

Capítulo 6 - Nesta secção serão descritos os métodos e análises dos resultados obtidos neste trabalho, sendo estas expostas para cada peça através da seguinte ordem:

- 1) Identificação da peça;
- 2) Análises realizadas no SEM;
- 3) Composição química - EDX;
- 4) Perfil da rugosidade superficial;
- 5) Gráfico da evolução da rugosidade média da superfície.

Capítulo 7 - Por fim descrevem-se as conclusões do trabalho, sendo repartida em três subsecções. A primeira secção refere-se às considerações finais sobre o controlo da qualidade do polimento realizado na empresa, a segunda secção destina-se às propostas de trabalhos futuros a realizar na empresa, sendo por último, a secção três que se destina à informação sobre trabalhos realizados em paralelo na F.P.L. no âmbito do estágio.

## 2. Metais e suas propriedades

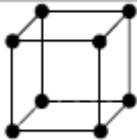
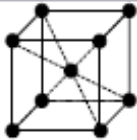
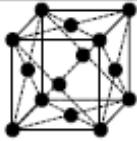
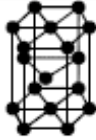
Os metais, enquanto materiais sólidos, são fundamentalmente constituídos por elementos químicos de carácter metálico (metais, metaloides, metais alcalinos, metais de transição e metais alcalino terrosos), com ligação química metálica e uma estrutura cristalina que lhes confere a capacidade dos eletrões de valência “fluírem” livremente através dos núcleos dos átomos da matéria [1].

Estas propriedades são responsáveis pela elevada condutividade elétrica e térmica dos metais.

Do ponto de vista cristalográfico, são geralmente de ordenação cristalina simples, possuindo uma elevada densidade atómica e elevada simetria, o que proporciona uma considerável elasticidade, ductilidade, resistência à tração, compressão e tenacidade [1].

Existe um total de 14 estruturas cristalinas de metais diferentes, no entanto, quase todos os metais com importância comercial solidificam num dos quatro tipos descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Estruturas cristalinas típicas de metais (Adaptada: William F. Smith 1993).

Estrutura	Esquema unitário	Nº de vizinhos mais próximos	Eficiência de compactação	Metais típicos
Cúbica simples SC		6	52%	Nenhum
Cúbica corpo centrado BCC		8	68%	Fe, Cr, Mn, Cb, W, Ta, Ti, V, Na, K
Cúbica face centrada FCC		12	74%	Fe, Al, Cu, Ni, Ca, Au, Ag, Pb, Pt
Hexagonal compacta HCP		12	74%	Be, Cd, Mg, Zn, Zr

Os metais ao solidificarem começam inicialmente por formar pequenos núcleos sólidos, a estes acrescentam-se outros átomos para formar uma rede cristalina. A nucleação e o crescimento destes cristais acontecem em vários pontos da solução líquida, formando conseqüentemente um aglomerado de cristais adjacentes, sendo designado por material policristalino [5].

Cada um destes cristais é designado por grão e a fronteira entre os grãos é denominada por limites ou contorno de grão, estes possuem dimensões na ordem dos micrómetros, podendo ser observados por microscopia ótica [5].

Quanto maior for a taxa de nucleação, menores serão as dimensões dos grãos formados na rede cristalina, em que este tipo de estrutura influencia algumas propriedades físicas, químicas e mecânicas dos metais [6].

Em condições normais, a maior parte dos metais são estáveis à temperatura e pressão ambiente, excetuando os alcalinos e os alcalino terrosos (que possuam um e dois elétrons de valência) que são bastante reativos com o meio ambiente podendo formar sais com facilidade [6].

## **2.1 Propriedades dos metais**

Como referido anteriormente o processo de solidificação dos metais influencia diretamente as propriedades físicas, químicas e mecânicas de um determinado metal, de seguida serão descritas as principais.

### **2.2.1 Dureza**

A dureza expressa apenas uma propriedade superficial do metal, esta é uma medida de resistência à penetração por parte de um corpo externo, tendo particular interesse para avaliar a resistência ao desgaste do material (propriedade que depende da sua superfície), calcular o grau de endurecimento superficial por tratamento térmico e para estimar a resistência mecânica do mesmo [1].

### **2.2.2 Tenacidade**

Esta propriedade é a energia total necessária por unidade de volume necessária para provocar a fratura do material [1].

### **2.2.3 Maquinabilidade**

A maquinabilidade de um material é a aptidão que um determinado material possui para ser processado por uma ferramenta de corte, para que este processo ocorra da melhor forma é necessário ter em consideração algumas características, tais como:

- Propriedades de tensão e deformação;
- Grau de encruamento - processo realizado a frio, isto é, trabalho realizado a temperaturas inferiores à de recristalização (etapa onde ocorre a recriação dos grãos da estrutura do metal) através de deformação plástica, o que causará o endurecimento e consequente aumento da resistência do metal;
- A microestrutura do material;
- A dureza;
- A composição química;
- Condutibilidade térmica - Propriedade dos materiais em conduzir energia térmica;
- Homogeneidade e isotropia do metal.

Devido ao elevado número de indicadores da qual depende a maquinabilidade do metal pode-se considerar que é uma propriedade bastante complexa, pois para além dos referidos anteriormente, esta propriedade depende também do tipo de ferramenta de corte, da rugosidade e da energia necessária ao corte.

A maquinabilidade de um material é difícil de quantificar, sendo que uma maior ou menor aptidão para tal reflete-se no acabamento superficial da peça, na duração da ferramenta de corte, na velocidade e força exercida para cortar e por fim na capacidade de separar as limalhas resultantes do corte da peça [1].

Em suma, quando a dureza aumenta o grau de maquinabilidade desce, ou seja, todos estes parâmetros podem ser controlados com a adição de determinados elementos de ligas metálicas, no entanto, existe a desvantagem de poderem ocorrer outras transformações indesejáveis principalmente nas propriedades superficiais do material.

#### 2.2.4 Fluência

Capacidade que um material possui de resistir à deformação ao longo do tempo, quando sujeito a tensões, esta ocorre como resultado da exposição prolongada a uma determinada tensão [1].

#### 2.2.5 Viscoelasticidade

É a propriedade dos materiais ao sofrerem deformação, terem um comportamento viscoelástico, ao serem deformados as moléculas arrastam-se umas sobre as outras como num fluido (viscosidade), no entanto, quando libertado, as moléculas tendem a voltar ao ponto inicial (elasticidade) [1].

De um modo geral os metais são bastante utilizados no dia a dia, contudo existem alguns em que devido as suas características/propriedades físico-químicas e mecânicas são preferidos em determinadas indústrias.

## 3. Cobre e suas ligas

### 3.1 Produção do cobre

O cobre é extraído a partir de minérios que contêm sulfuretos de cobre e ferro, estes concentrados são submetidos a uma fusão numa atmosfera redutora (baixo teor de oxigénio) de forma a produzir *mate* (mistura de cobre e sulfuretos de ferro) na qual é separado da escória (resíduos/impurezas) [7].

O sulfureto de cobre existente na solução é convertido quimicamente em cobre impuro ou cobre poroso (98% Cu) [8]. Depois disso, a maior parte das impurezas são removidas num forno de afinação, este cobre é designado de cobre maleável resistente, no entanto, embora este tipo de cobre seja utilizado em diversas aplicações, a maior parte dele é posteriormente refinado electroliticamente para se obter cobre eletrolítico maleável resistente [1,8].

O teor de oxigénio no cobre em geral é de cerca de 0,04%, e como é insolúvel, mesmo em pequenas quantidades, formam-se compostos interdendríticos na forma de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , que é bastante prejudicial para as propriedades desejáveis do cobre.

Para se produzir cobre sem oxigénio é necessária a introdução de um cátodo de cobre eletrorefinado por meio de fusão e fundição numa atmosfera redutora com monóxido de carbono e azoto, deste modo, o oxigénio é impedido de “entrar” no cobre. Assim, o elemento interdendrítico  $\text{Cu}_2\text{O}$  e/ou porosidades antes encontradas no cobre deixam de existir [8].

Contudo, devido à eliminação do  $\text{Cu}_2\text{O}$  da solução, a condutividade do cobre aumenta, por outro lado aumenta também a solubilidade de algumas impurezas, como o ferro.

Com a adição de fósforo, todo o oxigénio existente no cobre será convertido em pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Estes tipos de ligas de cobre possuem quantidades de fósforo inferiores a 0,009%, mesmo assim, a sua alta condutividade é mantida.

Altos níveis de fósforo são usados na desoxidação dos cobres, estes tipos de ligas contêm cerca de 0,04% de fósforo residual, o que resulta numa baixa condutividade elétrica, reduzindo cerca de 15% quando comparado com cobre puro [1].

O excesso de fósforo no cobre previne a absorção de oxigénio quando trabalhado a altas temperaturas, permitindo que este material seja soldado, contudo uma das maiores desvantagens do cobre desoxidado é a formação de pequenas cavidades (poros) durante a solidificação.

O cobre na sua forma pura é um material bastante importante na engenharia devido à sua alta condutividade elétrica, este é largamente utilizado na indústria elétrica e eletrónica [2].

Este metal também é bastante atrativo pela sua alta resistência à corrosão, pela sua facilidade de fabricação (conformação mecânica), razoável resistência à tração, propriedades de recozimento controláveis e ainda boas propriedades em soldadura [9].

### 3.2 Cobre e suas ligas

O cobre e suas respectivas ligas são classificadas de acordo com um sistema de designação administrado pela CDA - *Copper Development Association*, esta classificação depende essencialmente do tipo de trabalho a que as ligas se destinam, bem como os elementos químicos nela presentes [7].

Neste sistema os números de C100 até C799 referem-se às ligas para trabalho mecânico e as designadas de C800 até C999 são referentes às ligas para fundição como demonstrado nas tabelas 2 e tabela 3 [10].

As ligas de cobre mais utilizadas na indústria e em aplicações comerciais são os latões, denominação atribuída às ligas do sistema cobre-zinco (Cu-Zn).

Na indústria de produtos de luxo o cobre é a liga mais utilizada devido à sua semelhança exterior com o ouro. Com a vantagem de ser mais barato quando comparado com outros metais de características idênticas, além disso possui boas propriedades ao tratamento superficial, nomeadamente durante o polimento obter-se uma superfície espelhada e brilhante com boa resistência à corrosão e ao desgaste.

Tabela 2 - Designação das ligas metálicas do cobre para trabalho mecânico.

Designação	Elementos constituintes
C1XXXX	Cobre e ligas de elevado teor de cobre
C2XXXX	Latões (Cu-Zn)
C3XXXX	Latões com chumbo (Cu-Zn-Pb)
C4XXXX	Latões especiais com estanho (Cu-Zn-Sn)
C5XXXX	Bronzes (Cu-Sn)
C6XXXX	Cu-Al, Cu-Si, Cu-Zn
C7XXXX	Alpacas (Cu-Ni e Cu-Ni-Zn)

Tabela 3 - Designação das ligas metálicas do cobre para fundição.

Designação	Elementos constituintes
C80XXX e C81100	Cobres
C81XXX e C82XXX	Ligas de elevado teor de cobre (exceto C811000)
C83XXX	Bronzes especiais (Cu-Sn-Zn) com ou sem chumbo
C84XXX	Bronzes especiais (Cu-Sn-Zn) com teor de zinco igual ou superior ao de estanho
C85XXX	Latões (Cu-Zn) com ou sem chumbo
C86XXX	Latões especiais (Cu-Zn) de elevadas resistências mecânicas
C87XXX	Ligas de Cu-Si
C90XXX e C91XXX	Ligas de Cu-Sn (bronze), Cu-Sn-Zn (bronzes especiais) com teor de zinco inferior ao de estanho
C92XXX	Bronzes (Cu-Sn), bronzes especiais (Cu-Sn-Zn) com chumbo e teor de zinco inferior ao de estanho
C93XXX até C95XXX	Bronzes (Cu-Sn- e Cu-Sn-Zn com elevado teor de chumbo)
C95XXX	Ligas de Cu-Al
C96XXX	Ligas Cu-Ni-Fe
C97XXX	Alpacas (Cu-Ni-Zn) com outros elementos
C98XXX	Ligas de Cu-Pb
C99XXX	Ligas diversas



## 4. Ligas de latão

Neste tipo de liga (Cu-Zn), os teores de zinco variam entre os 5%-40% (percentagem mássica), em que o zinco é um elemento de liga relativamente barato, porém, bastante importante no cobre, pois é responsável pelo aumento da dureza através da formação de precipitados duros na solução sólida [11].

Um dos principais usos do cobre é na fabricação de peças com geometria complexa através da conformação mecânica (como é o caso da indústria de produtos de luxo). O latão alia a vantagem de ser facilmente deformado com uma resistência mecânica superior à do cobre comercialmente puro, aliás, o latão com teores de zinco entre 20% e 30% apresenta maior ductilidade do que o cobre puro e do que os latões com teores de zinco inferiores [12].

O tamanho do grão inicial dos latões possui grande influência no que respeita às características de deformação durante o processo de fabricação, sendo assim, o controlo do tamanho do grão antes da deformação a frio é muito importante, e os recozimentos anteriores devem ser rigorosamente controlados, quanto ao tempo e à temperatura de forma a obter grãos finos na microestrutura final [13].

### 4.1 Composição química do latão

Os latões são ligas metálicas binárias de cobre e zinco, às quais se adicionam intencionalmente alguns elementos de liga para obtenção de determinadas características.

A liga é considerada bifásica porque apresenta uma microestrutura composta por duas fases: a fase  $\alpha$  (cor clara e com a rede cristalina do cobre, CFC) e a fase  $\beta$  (cor escura com menor teor percentual de cobre) conforme ilustrado na figura 1 [5,13].

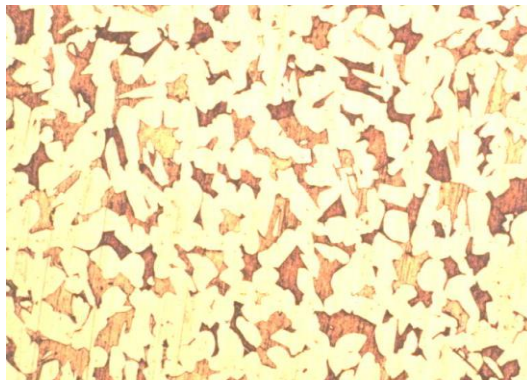


Figura 1 - Microestrutura característica da liga bifásica do latão (Moreira 2010).

Como se pode analisar no diagrama de fase do sistema binário Cu-Zn (Figura 2), a fase  $\alpha$  é rica em cobre, apresentando a mesma estrutura cristalina que o cobre puro, isto é, possui uma estrutura cúbica de faces centradas (CFC) [1].

A fase  $\alpha$  é pouco dura, muito dúctil e é apropriada para a conformação mecânica a frio. Nesta fase o teor máximo de zinco é de 39% a 456°C e reduz-se para 32,5% à temperatura de 903°C e para cerca de 33% a uma temperatura de 150°C.

Quando o teor de zinco ultrapassa os 32,5%, forma-se uma segunda estrutura cristalina estável, denominada de fase  $\beta$ .

A fase  $\beta$ , possui uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC), é mais dura e apresenta maior resistência mecânica pelo que apresenta uma reduzida habilidade à conformação a frio, sendo normalmente conformada a quente [1].

As ligas de latão bifásicas têm, em regra geral, teores de zinco entre os 36% e 42%, apresentando assim uma estrutura  $\alpha+\beta$  à temperatura ambiente (zona limitada pelas linhas vermelhas representadas na figura 2). Estes tipos de ligas são normalmente estampadas a quente e maquinadas a frio [6].

Por outro lado, quando o teor de zinco é superior a 50% forma-se a fase sólida  $\gamma$ , com uma estrutura complexa e bastante frágil, este é um tipo de latão pouco usado na engenharia.

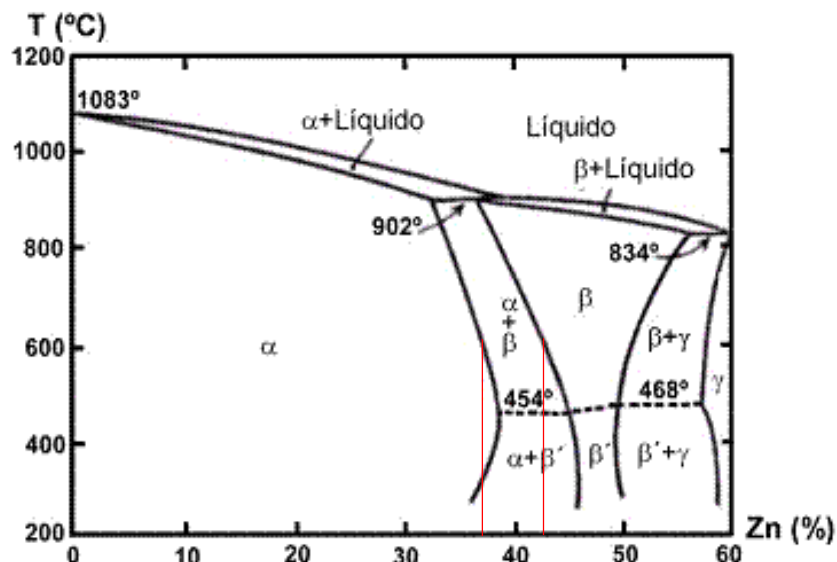


Figura 2 - Diagrama de fases Cu-Zn em percentagem mássica (William F. Smith 1993).

Os latões são designados conforme a sua composição química, ou seja, dependendo do teor de zinco e cobre este terá a atribuição de um determinado grupo dos latões, tal com exemplificado seguidamente:

- Com teor de zinco superior a 30% a liga designa-se por “alto latão” ou “latão amarelo”;
- Com teor de zinco inferior a 20% a liga designa-se por “baixo latão” ou “latão vermelho”;
- Quando uma liga de latão possui uma composição aproximada de 60% Cu e 40% Zn, esta é designada por “*Muntz Metal*” [1].

Como referido anteriormente na liga de latão os elementos predominantes são o cobre e o zinco, pois são estes que irão definir o tipo de estrutura: monofásica ou bifásica. Contudo, são adicionados outros elementos à liga, em quantidades muito mais reduzidas, no sentido de otimizar determinadas propriedades.

## 4.2 Influência dos elementos de liga nos latões

A influência do zinco é marcante na determinação do tipo de estrutura característica dos latões, definindo-se deste modo duas grandes famílias de latões, no entanto outros elementos são adicionados de forma a afinar o tamanho do grão, melhorar a fluidez da liga no estado líquido, melhorar a resistência à corrosão e as propriedades mecânicas [14,15].

A influência dos vários elementos de liga passíveis de serem adicionados ou de surgirem inadvertidamente na liga de latão é a seguinte:

- Alumínio - Elemento adicionado à liga com o objetivo de a desoxidar durante a fundição, de melhorar a sua fluidez e reduzir perdas de zinco por volatilização. Este elemento também melhora a resistência à corrosão do latão devido à formação de um filme passivo na superfície do metal sendo que, desta forma melhora a qualidade superficial das peças produzidas. O alumínio é um elemento bastante betagéneo, ou seja, é um elemento estabilizador da fase B (1% de Al corresponde a 6% de Zn) e, como tal, aumenta fortemente a resistência mecânica do latão [1,2,7].
- Ferro - O ferro melhora em particular a resistência à tração e a ductilidade devido a este promover o refinamento do grão da liga, no entanto, é um elemento perigoso nas ligas de latão, pois em grandes quantidades e na presença de outros elementos, existe a possibilidade da formação de “pontos duros”, em que estes, como referido mais adiante, são indesejáveis para operações de polimento e de maquinaria [1,13,14].

- Estanho - Elemento que melhora a resistência à corrosão do latão, e em particular a resistência à dezincificação, fenômeno que irá ser abordado posteriormente, contudo, em teores demasiado elevados pode provocar o aparecimento de fissuras nas peças fundidas durante o seu arrefecimento devido ao coeficiente de expansão térmica [14,15]. Por exemplo, para os latões de fundição o teor de estanho não deve ser superior a 0,3% [11,15].
- Manganês - Este elemento melhora significativamente a resistência mecânica do latão e causa uma desoxidação eficaz durante a fusão da liga [1].
- Níquel - Embora este elemento melhore significativamente a resistência à corrosão no latão, este é pouco utilizado devido ao seu elevado custo. Com teores compreendidos entre 3% e 4% o níquel contribui para o aumento da resistência mecânica da liga de latão, porém, quando combinado com o alumínio, este provoca o endurecimento do latão devido à precipitação de aluminetos de níquel, contudo, tem a desvantagem de reduzir bastante a maquinabilidade da liga [15].
- Silício - O silício, tal como o alumínio, também é um elemento betagêneo, pelo que, com a sua presença, o latão torna-se mais duro e resistente [14]. Todavia, o silício, juntamente com o ferro e o manganês tem tendência a formar “pontos duros” (precipitados), assim sendo, é um elemento não aconselhável para latões de fundição e o seu teor de concentração não deverá exceder os 0,05% [11].
- Arsénio - O arsénio, em baixas concentrações, é aplicado nos latões antidezincificantes porque promove uma melhoria significativa na resistência à corrosão do metal via dezincificação, no entanto, caso o seu teor seja superior a 0,2%, irá deteriorar as propriedades mecânicas da liga [14,16].
- Fósforo - O fósforo, tal como o arsénio, melhora a resistência à dezincificação do latão [1,16].
- Bismuto - Elemento idêntico ao chumbo (considerado um bom substituto para o chumbo), pois não altera a morfologia da microestrutura dos latões, facilita a maquinagem das peças e reduz o tamanho do grão [5,14].
- Selénio - Potencia o efeito do bismuto, obtendo-se assim uma boa maquinabilidade dos latões [14].
- Magnésio - É um elemento bastante ativo no que toca à desoxidação do latão tornando a sua coloração mais clara, embora, devido ao seu baixo ponto de fusão, não é possível

manter o magnésio muito tempo no banho da liga, em consequência disso, este elemento deve apenas ser adicionado antes do vazamento da liga [1,17].

- Boro e Zircônio - Estes elementos têm efeitos semelhantes, são utilizados para refinar o grão da liga de latão promovendo um aumento das suas propriedades mecânicas, na qual se verifica um elevado benefício para o polimento do metal, sendo que melhora a resistência mecânica de trabalho a quente e reduz os riscos de aparecimento de fissuras durante a solidificação das peças [13].
- Chumbo - O chumbo tem um efeito bastante importante nos processos de maquinagem do latão pois é um elemento bastante insolúvel nos latões a baixa temperatura - apenas 0,04% a 800°C - e que se distribui na microestrutura em forma de glóbulos [18]. A sua distribuição nunca é uniforme devido à segregação, pois deposita-se nos poros entre os grãos.

Essa distribuição faz com que, durante os diversos processos de maquinagem, o chumbo funda e funcione como lubrificante, facilitando assim a quebra das limalhas. Estas vantagens permitem a redução significativa das tensões de corte, o que diminui a taxa de desgaste das ferramentas de corte [19,20].

O chumbo é ainda um elemento betagéneo, pois promove a fase  $\beta$ , no entanto, com elevados teores de concentração, faz com que a resistência à tração dos latões diminua, especialmente a elevadas temperaturas, o que pode levar ao aparecimento de fissuras durante a solidificação das peças fundidas [11,18,19]. Deste modo, o teor de chumbo deve ser devidamente selecionado, não devendo ultrapassar os 1,5 pontos percentuais por questões de processamento [1].

Devido a questões ambientais e de saúde pública, o chumbo foi retirado da produção industrial derivado da norma ambiental ISO 14001 [21], o que levou a um aumento da investigação de novos elementos de liga que possuam propriedades idênticas às do chumbo, isto é, existe uma necessidade acrescida das empresas em procurarem um bom substituto e de se adaptarem a uma nova forma de produção de latões sem chumbo.

Como se verificou e detalhou anteriormente, além do cobre e do zinco, existem outros elementos que quando estão presentes na liga de latão, influenciam de modo diferente ou semelhante, significativamente as características gerais das ligas de cobre, e dependendo do fim para a qual se destina a liga, selecionar os elementos mais proveitosos para esse determinado objetivo [17].

### 4.3 Dezincificação

Um dos graves problemas nas ligas de latão é as suas propriedades se poderem deteorar com a adição ou perda de certos elementos, para tentar evitar isso, são adicionados, controlando a sua concentração, diversos elementos, no entanto, um dos principais problemas é a dezincificação.

A resistência à corrosão depende essencialmente da quantidade de zinco presente na liga (ou equivalência em zinco de outros elementos presentes) [22]. Existem, portanto, dois tipos de corrosão em latões: a corrosão sob tensão e a corrosão seletiva (dezincificação) [22].

Este problema ocorre devido à remoção/perda localizada de zinco na superfície da liga, o que induz a formação de uma camada bastante porosa e frágil de cobre e óxido de cobre surgindo assim o aparecimento de fissuras [17].

A dezincificação, como demonstrado na figura 3, envolve uma dissolução de zinco a partir da liga, favorecendo a corrosão do material e reduzindo a resistência mecânica.

As ligas de “alto cobre” geralmente possuem maior resistência à corrosão e elevada dureza, em contrapartida, têm maiores temperatura de fusão, maior custo e são mais frágeis [14].



Figura 3 - Zona de dezincificação na liga de latão (Seungman 2005).

A compensação deste fenómeno é realizada pela contribuição dos elementos de liga em latões  $\alpha$ , em que, para o caso de latões bifásicos ( $\alpha+\beta$ ), o problema é por vezes resolvido através do tratamento térmico para transformá-los em latões  $\alpha$  [22].

Por outro lado, para ocorrer corrosão sob tensão, são necessários três fatores, tais como:

- Utilização de ligas suscetíveis à corrosão sob tensão;
- Meio rico em amónia;
- Existência de tensões de tração.

A presença de grande quantidade de zinco reduz a resistência à corrosão do latão, proporcionalmente até 35% Zn, em que as ligas dentro desta variação assumem uma estrutura cristalina cúbica de faces centradas, formando a fase  $\alpha$ . Para teores superiores a 35% de Zn, a fase  $\beta$ , estabiliza-se com uma estrutura cúbica de corpo centrado e passa-se a ter latão bifásico ( $\alpha + \beta$ ) [1,14,17].

A maioria das ligas de latões que requerem uma maior resistência mecânica e boas propriedades metalúrgicas, procuram trabalhar com a variação da composição da estrutura bifásica. A contribuição de quantidade elevada de zinco reduz o custo da liga e a presença da fase  $\beta$  é bastante importante no que se refere à probabilidade de aparecerem fissuras durante e imediatamente após a solidificação.

Existem assim, três métodos de prevenir ou minimizar a dezincificação, e eles são:

1. O latão  $\alpha$  pode ser usado no lugar do latão bifásico que são mais suscetíveis a este fenómeno de deteoração na superfície;
2. Este método deriva do diagrama de fase Cu-Zn (figura 2), pois tem por objetivo tratar termicamente os latões (Zn<39%) bifásicos, de forma a transformá-los em monofásicos (o tratamento térmico realiza-se normalmente entre os 400°C e os 600°C com posterior arrefecimento até à temperatura ambiente);
3. É o método atualmente mais económico a nível industrial para minimizar os efeitos da dezincificação, em que se baseia, como já referido anteriormente, na adição de baixos teores de estanho, arsénio e fósforo à liga do latão.

#### 4.4 Latões com e sem chumbo

O chumbo melhora a maquinabilidade e não influencia a resistência à corrosão. O chumbo possui um ponto de fusão de 327°C e é insolúvel nos latões a temperatura ambiente, migrando nas fronteiras dos grãos da liga, aumentando assim a maquinabilidade do metal, pois ocupa os lugares vazios associados com a porosidade da concentração interna [15].

O latão com a adição de cerca de 2,9% de chumbo reduz para cerca de metade o coeficiente de atrito, ou seja, reduz assim a adesão da ferramenta de corte, protegendo da ligação de algumas impurezas indesejáveis à liga metálica [18].

Por outro lado, o latão sem chumbo aumenta bastante o desgaste da ferramenta de corte, para além disso, a qualidade da superfície da peça deteora-se [19,20].

A única forma de manter uma boa qualidade superficial é fazer uso de um lubrificante através de um jato de alta pressão, na ponta de corte da máquina, em que esta está revestida por um diamante policristalino [22,23].

Durante a solidificação do material fundido, alguns constituintes da liga metálica formam cristais a altas temperaturas, resultando em estruturas designadas por dendrites [11].

Os espaços existentes entre essas dendrites, interconectam-se formando microporos, esta porosidade é consequência do processo de solidificação.

Nestes casos, a função do chumbo, quando adicionado à liga, é “preencher” os poros interdendriticos, de forma a melhorar a ductilidade do material [22,23].

O chumbo também permite que o latão seja trabalhado sem ser necessário adicionar elementos de refrigeração, pois atua como lubrificante para a ferramenta de corte, formando pequenas limalhas na zona de corte, em que podem ser facilmente retiradas.

Este elemento não possui efeitos significativos na resistência da liga metálica, a não ser que o teor presente na sua concentração seja muito elevado.

Devido à implementação da norma ISO 14001 e respeitando as legislações ambientais impostas, o chumbo, por ser considerado um produto tóxico, foi erradicado da composição de muitos materiais, sendo a indústria do polimento de produtos de luxo também afetada por tais medidas.

Deste modo, latão com bismuto e/ou selênio, foram estudados de forma a substituir o chumbo em que as suas principais vantagens são:

- Elevada maquinabilidade;
- Produto não tóxico (o bismuto é bastante usado na indústria farmacêutica).

De salientar que as propriedades da liga dependem fortemente da etapa de fundição dos metais, assim, controlando a fase “bruta” das peças, irá obter-se vantagens consideráveis.

Posto isto, verifica-se que para melhorar a qualidade da liga é necessário proceder-se ao refinamento do tamanho do grão da estrutura, pois a partir daí obtém-se uma melhor qualidade superficial na qual irá influenciar positivamente o processo de polimento [3].

## 5. Tratamento Superficial

Na indústria dos produtos de luxo é necessário um rigoroso controlo de qualidade devido às elevadas exigências de perfeição por parte do cliente final. Desta forma, todos os acessórios passam por vários processos que condicionam as transformações superficiais ocorridas, desde a fundição da liga, conformação até ao acabamento final.

Como tal, o processo utilizado para melhorar a qualidade da superfície do material, de um modo geral, é o polimento. Este processo depende dos seguintes fatores:

- Qualidade superficial da peça;
- Tipo de feltros e pastas abrasivas utilizadas;
- Senso crítico de qualidade por parte do polidor.

O polimento é um processo mecânico de acabamento superficial de uma determinada peça, que visa tornar a sua superfície lisa (rugosidade reduzida) e de aparência espelhada, ou seja, este tipo de tratamento propicia uma boa qualidade de acabamento superficial do produto final.

O ato de polir tem as seguintes finalidades:

- Fornecer, a qualquer superfície, um bom acabamento final, espelhada e de reduzida rugosidade, sem qualquer tipo de fissuras ou pontos duros (tema abordado mais adiante no trabalho);
- Criar uma camada superficial de proteção para a peça, impedindo ou reduzindo a ação de corrosão do material;
- Preparar as peças para posteriores operações de revestimento superficial.

Geralmente, o polimento é realizado através de um motor de rotação na qual tem acoplado a si um conjunto de feltros abrasivos na forma de discos revestidos por pastas abrasivas.

Este tratamento superficial desgasta as camadas superficiais da peça, na qual podem ocorrer os mais variados problemas, tais como:

- Existência de pontos duros;
- Existência de inclusões não-metálicas;
- Deformação física da peça.

## 5.1 Pontos duros

Os pontos duros correspondem a compostos intermetálicos (inclusões) que, possuindo uma dureza superior à liga principal, (ver figura 4) durante o processo de polimento são arrancados da superfície da peça, formando assim pequenos buracos, sendo considerados defeitos de fabrico [24].



Figura 4 - Exemplo da presença de impurezas na superfície da peça (Moreira 2010).

A formação de pontos duros em latões tem vindo a ser objeto de estudo desde a década 40 do século passado, destes estudos concluiu-se que o principal elemento causador de pontos duros é o ferro, embora, como referido anteriormente, o teor de concentração de determinados elementos (silício e manganês) também podem causar a formação de pontos duros (precipitados) devido à insolubilidade dos compostos metálicos presentes na liga de latão.

O efeito do ferro na formação de “pontos duros” deve-se essencialmente à baixa solubilidade do ferro na rede cristalina do cobre, esta varia com a temperatura.

No caso das ligas de latão 60:40 (percentagem mássica dos elementos cobre e zinco, respetivamente), a solubilidade do ferro é idêntica à do cobre puro, cerca de 1,5% a 1020°C e de 0,04% a 950°C, respetivamente [25]. O ferro forma compostos intermetálicos distribuídos na microestrutura do material, o que, em elevados teores de concentração, poderá originar inclusões ou precipitados maiores (pontos duros).

A presença dos pontos duros é bastante desvantajosa para a qualidade superficial das peças, isto porque para além da superfície não aparentar uma boa qualidade, é necessário o desgaste de sucessivas camadas de material, o que poderá, conseqüentemente, atingir o limite mínimo da cota admitida pelo cliente.

Deste modo, existem formas de prevenir/evitar o aparecimento de pontos duros, tais como:

- Controlo rigoroso dos elementos adicionados à composição da liga;

- Evitar contaminações, principalmente de ferro ou de outros elementos que o possuam na sua composição, por exemplo ferramentas de trabalho no processo de fundição e/ou conformação. Caso exista contaminação, deverá controlar-se a temperatura de vazamento por forma a maximizar a dissolução do ferro no banho metálico.

Contudo, também a presença de óxidos de elementos de liga ou impurezas, embora com temperaturas de fusão mais elevadas e densidades mais reduzidas que o banho metálico, não formam soluções sólidas ou se separam de maneira satisfatória durante o processo de fusão, portanto, a remoção destes óxidos é também importante para uma boa qualidade do produto final [24,25].

Os defeitos de fundição ocorrem devido a vários fatores, originando defeitos na própria liga obtida. As causas para estes defeitos podem ser a escolha inadequada do forno, o cálculo errado dos parâmetros da composição e até mesmo no processo defeituoso de solidificação da liga.

Dos principais defeitos observados durante a fundição e posterior solidificação da liga de latão são as inclusões de partículas não metálicas.

Estas partículas, misturadas com o metal fundido durante o vazamento da solução metálica, ficam presas no interior ou superfície da massa metálica durante a solidificação. Quando as inclusões se localizam nas camadas superficiais da peça, estas são facilmente retiradas durante o tratamento da superfície através do polimento e/ou lapidação (processo idêntico ao polimento, mas realizado com recurso a lixas), originando “buracos” nos locais que ocupavam.

## **5.2 Principais riscos da indústria do polimento**

Como qualquer atividade de trabalho existem riscos conforme o tipo de atividade desenvolvida, sendo que a cada tipo de ação de trabalho está associado um fator de risco [4]. As medidas de prevenção tendem a diminuir e/ou erradicar a probabilidade de ocorrência de riscos [26,27].

Na indústria do polimento existem ações que possuem grande probabilidade de risco, sendo as principais os seguintes:

- Soldadura de componentes das peças;
- Lapidação e polimento;
- Lavagem das peças.

### 5.2.1 Soldadura de componentes das peças

Tem como principal fator de risco a utilização de produtos químicos, na qual os gases tóxicos libertados podem ser inalados pelo trabalhador.

Deste modo, deverão ser aplicadas as seguintes medidas de prevenção:

- Substituir os produtos químicos mais perigosos por outros que sejam isentos ou de menor grau de perigo [4,26,27];
- Afixar as fichas de segurança na utilização dos produtos químicos, de forma ao trabalhador saber com o que lida;
- Possuir um sistema de exaustão de gases eficaz e utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's) adequados.

Outros fatores de risco associados a esta atividade, são:

- Iluminação inadequada e posturas incorretas do trabalhador que podem causar fadiga visual e/ou perturbações musculares.

Por forma a minimizar estes riscos, a empresa deverá assegurar:

- Uma iluminação adequada;
- Instalar bancos ergonómicos e ministrar formação sobre a postura e ergonomia adequadas a ter no local de trabalho.

### 5.2.2 Lapidação

Este processo de tratamento superficial é caracterizado por um desbaste superficial antes do polimento, por forma a que o acabamento final com o polimento seja mais rápido e eficaz, sendo então um tratamento parecido ao polimento, mas diferenciado pelo material utilizado.

Na lapidação são utilizadas lixas em discos ou bandas com rugosidades diferentes, dependendo do estado da superfície da peça, enquanto que no polimento são utilizados discos de feltros revestidos por pastas abrasivas, com isto, verifica-se que os fatores de riscos associados a ambos serão idênticos.

No caso da lapidação os principais fatores de risco são:

- Existência de equipamentos ruidosos e com vibração;
- Utilização de produtos químicos.

Sendo assim, o trabalhador está sujeito a elevados riscos de exposição ao ruído, vibrações e o perigo de contacto de produtos perigosos com a pele são reais, para tal, tomam-se as seguintes medidas:

- Proceder à insonorização dos motores e isolar as superfícies;
- Assegurar a rotatividade dos postos de trabalho para diminuir os tempos de exposição ao ruído e vibrações;
- Utilizar EPI's, neste caso usar proteção para os ouvidos e luvas adequadas;
- Colocar apoios-de forma a minimizar as vibrações.

### 5.2.3 Polimento

No caso do polimento para além dos fatores de riscos igualmente associados à lapidação também se destacam os seguintes:

- Libertação de poeiras;
- Temperaturas elevadas.

Desta forma, o trabalhador está em risco de inalação de poeiras/impurezas sólidas e a queimaduras por contacto com a superfície quente das peças. Para diminuir esses riscos é fundamental que sejam adotadas as seguintes medidas de prevenção:

- Instalar sistemas de aspiração eficazes de poeiras;
- Sensibilizar os trabalhadores para o uso de proteção respiratória;
- Usar luvas de resistência a temperaturas elevadas.

### 5.2.4 Lavagem

Nesta indústria a etapa da lavagem é bastante importante, pois retira os resíduos acumulados na superfície da peça resultantes dos processos de lapidação, polimento ou até mesmo de outros processos de acabamento com gravação.

O trabalhador que executa esta atividade está sujeito a risco de contacto com materiais e substâncias perigosas bem como possível asfixia e inalação de substâncias por libertação de solventes e/ou produtos químicos.

Neste caso, deverão ser tomadas as seguintes medidas de prevenção:

- Instalar sistemas de ventilação para exaustão dos vapores libertados;

- Dar formação sobre o manuseamento/armazenagem dos produtos químicos utilizados;
- Utilizar EPI's adequados, tais como: fato de trabalho, luvas, óculos e máscara.

## 6. Metodologia e análise de resultados

Este trabalho realizado durante o estágio na empresa F.P.L. teve por objetivo analisar um determinado conjunto de peças de forma a controlar a qualidade do polimento realizado pela empresa.

As peças foram analisadas nas diferentes etapas do processo de transformação, desde que chegam à empresa no seu estado bruto, até posteriormente serem sujeitas ao processo de lapidação, polimento e lavagem (acabamento final). Cada uma das peças foi analisada em dois locais (excetuando a peça D).

O controlo de cada etapa foi realizado no SEM (*Scanning eletronic microscopy*) e no rugosímetro.

Através do SEM obteve-se a análise da microestrutura superficial das peças, a composição dos elementos presentes na liga do latão e respetiva distribuição dos componentes.

Com as análises realizadas no rugosímetro *Hommel T 1000*, consegue-se determinar se a rugosidade da superfície das peças se encontra dentro das cotas mínimas admitidas pelo cliente final.

Estes dois métodos de análise serão descritos de forma pormenorizada nas próximas secções.

### 6.1 Peças analisadas

As peças selecionadas para a análise foram escolhidas devido ao grau de importância para a empresa, pois são das referências mais trabalhadas e que requerem alguma complexidade ao nível de transformação.

Na peça A, (figura 5), foram delineadas duas regiões. A região 1 compreende uma mancha visível a “olho nu”, enquanto que a região 2 não possui mancha, mas está situada na mesma face e assim será sujeita aos mesmos tipos de ação mecânica de tratamento superficial.



Figura 5 - Peça A (observam-se 2 regiões analisadas).

As peças B e C são iguais quanto à sua forma física e modo de tratamento mecânico superficial, no entanto, a peça B, (figuras 6 e 7) possui uma superfície amarelada enquanto que a peça C, (figuras 8 e 9) apresenta uma superfície mais avermelhada e escura.

Nestas duas peças foram delineadas duas regiões distintas com intuito comparativo do que acontecia ao longo do processo mecânico nas duas regiões. A região 1 de ambas as peças foi escolhida pois está entre as duas pirâmides, desta forma, durante o processo de lapidação e polimento, esta região será sujeita a maiores ações mecânicas das lixas e dos feltros que tratam tanto a superfície das pirâmides como a região assinalada, isto é, terá mais ação de desgaste e um maior grau de complexidade de transformação que a região 2, que é uma superfície plana e estará sujeita em toda a superfície às mesmas ações mecânicas.



Figura 6 - Peça B, região 1.



Figura 7 - Peça B, região 2.



Figura 8 - Peça C, região 1.



Figura 9 - Peça C, região 2.

A peça D, (figura 10) foi selecionada pois denotavam-se pequenos “buracos” e riscos na superfície da peça, foi então delineada apenas uma região. Esta já se encontrava acabada e apresentava defeitos, neste caso, estão compreendidos na região 1.



Figura 10 - Peça D, região 1.

## 6.2 Análises realizadas - SEM

As análises foram executadas segundo a seguinte ordem (excetuando a peça D que apenas foi analisada depois do polimento e lavagem e com maiores ampliações por forma a tornar bem visível os defeitos):

1. Estado bruto
  - a. Análise no SEM com ampliação de 150x;
  - b. Composição química - EDX;
  - c. Análise da rugosidade superficial (rugosímetro).
2. Depois da lapidação
  - a. Análise no SEM com ampliação de 150x;
  - b. Composição química - EDX;
  - c. Análise da rugosidade superficial (rugosímetro).
3. Depois do polimento e lavagem
  - a. Análise no SEM com ampliação de 150x;
  - b. Composição química - EDX;
  - c. Análise da rugosidade superficial (rugosímetro).

### 6.2.1 Peça A - Análise no SEM

A peça A apresenta a seguinte microestrutura nas regiões 1 e 2 respetivamente (identificação numérica em cada figura) ao longo das etapas do processo, estado bruto (figuras 11), lapidado (figura 12) e polido (figura 13).

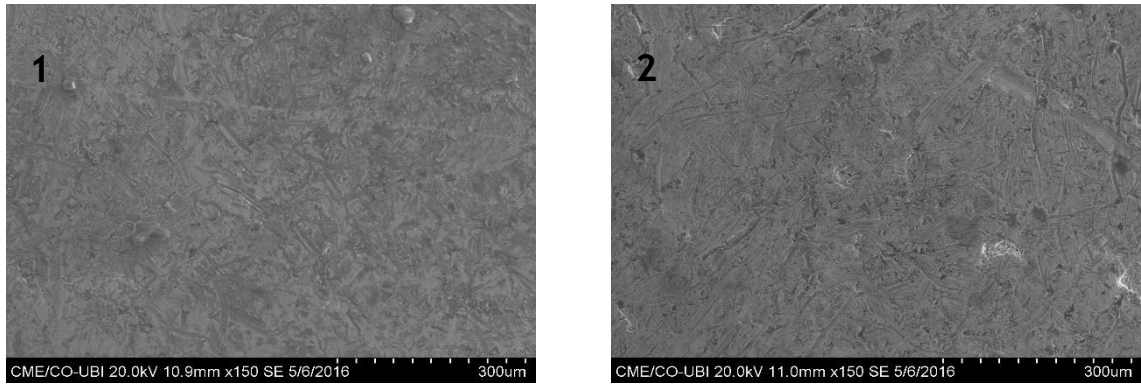


Figura 11 - Microestrutura da peça A no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

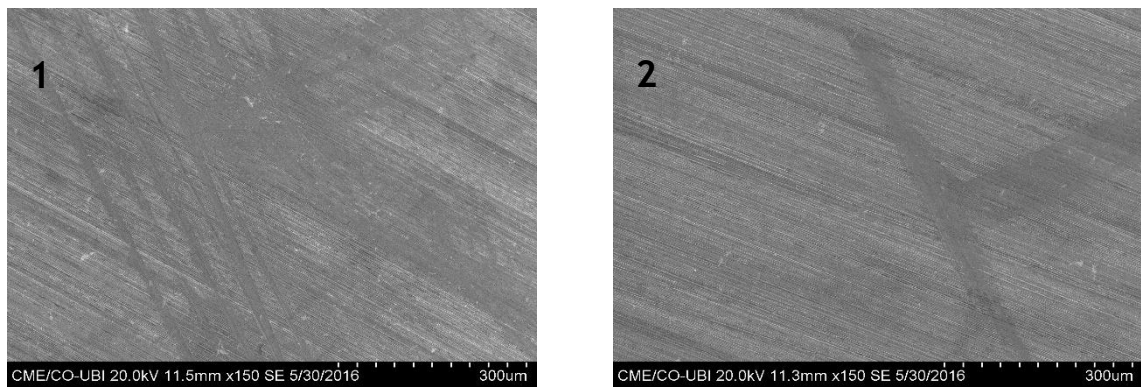


Figura 12 - Microestrutura da peça A no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

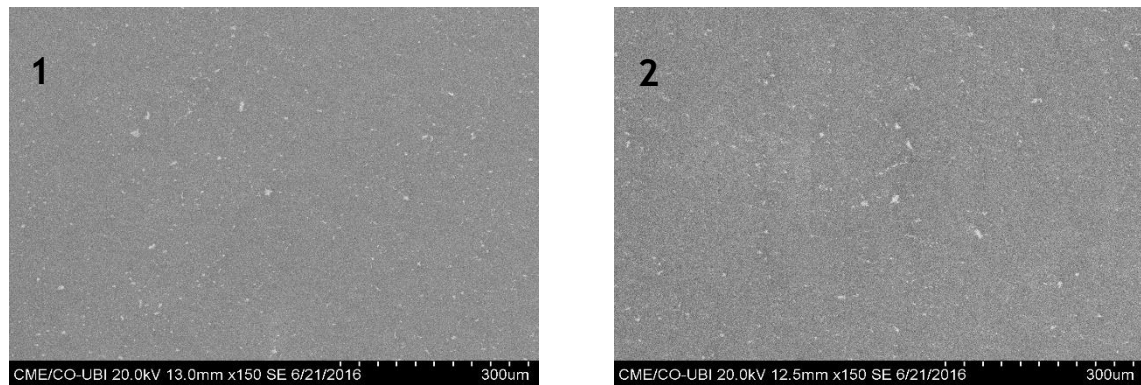


Figura 13 - Microestrutura da peça A no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

Com as sucessivas etapas de polimento a peça vai sofrendo o desgaste de camadas superficiais. Desta forma obtém-se uma superfície mais uniforme e de rugosidade reduzida.

## 6.2.2 Peça A - Composição química

Nas tabelas 4 e 5 será descrita a composição química da peça A, nas regiões 1 e 2, sendo que numa primeira fase serão incluídos todos os elementos presentes na amostra e posteriormente para efeitos concretos de estudo da qualidade do material da liga de latão os elementos principais, cobre e zinco, serão normalizados de acordo com as respetivas percentagens.

Tabela 4 - Composição na região 1 da peça A (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	50,93	2,76	51,78	1,81	55,41	2,86
Zinco	21,68	1,23	33,95	0,13	35,70	1,90
Carbono	16,16	4,41	10,78	3	5,94	2,04
Oxigénio	9,58	2,51	2,27	0,72	1,35	0,53
Silício	0,96	0,14	-	-	-	-
Potássio	0,36	0,08	-	-	-	-
Cloro	0,28	0,07	-	-	-	-
Alumínio	0,04	0,06	0,13	0,07	-	-
<b>Normalizado</b>						
Cobre	70,14		60,40		60,80	
Zinco	29,86		39,60		39,20	

Tabela 5 - Composição na região 2 da peça A (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	48,67	2,68	53,35	2,86	55,09	2,79
Zinco	25,96	1,48	34,91	1,94	35,94	1,87
Carbono	18,90	5,07	8,41	3,11	5,92	1,95
Oxigénio	4,97	1,45	2,21	0,89	1,42	0,53
Silício	1,01	0,14	-	-	-	-
Alumínio	0,05	0,06	-	-	-	-
<b>Normalizado</b>						
Cobre	65,20		60,45		60,50	
Zinco	34,80		39,55		39,50	

Pode-se verificar que a peça em bruto possui um importante teor de impurezas na sua superfície, este fato pode-se atribuir à fase de conformação, pois devido ao contacto com a ferramenta pode levar a que exista transferência de possíveis resíduos. Durante o trabalho há maior probabilidade de aderência ou reação com outros elementos da liga.

Através dos dados obtidos nas tabelas 4 e 5, verifica-se que ao longo das etapas de polimento (lapidado e polido) as impurezas vão diminuindo, ficando apenas os elementos principais da liga (cobre e zinco), embora se denote a presença de carbono e oxigênio. De notar que estes elementos são constituintes da atmosfera da câmara de análise.

Analisando o diagrama de fase Cu-Zn (figura 2), conclui-se que a camada analisada possuía a mesma fase (fase  $\alpha$ ) até um teor máximo de zinco de 39%, o que na região 1 apresenta um valor de 29,86% de zinco e na região 2 apresenta um teor de 34,80%.

Sendo assim, na região 1 (zona da mancha), verifica-se que a mancha (visível a olho nu) seria um problema de diferente composição em relação a outras regiões da mesma camada da peça (neste caso de comparação era a região 2), visto que a mancha “desaparece” depois da peça ser lapidada, ficando com uma superfície de cor homogênea.

### 6.2.3 Peça B - Análise no SEM

A peça B apresenta a seguinte microestrutura nas regiões 1 e 2 (identificadas numericamente nas figuras), ao longo das etapas do processo, estado bruto (figura 14), lapidado (figura 15) e polido (figura 16).

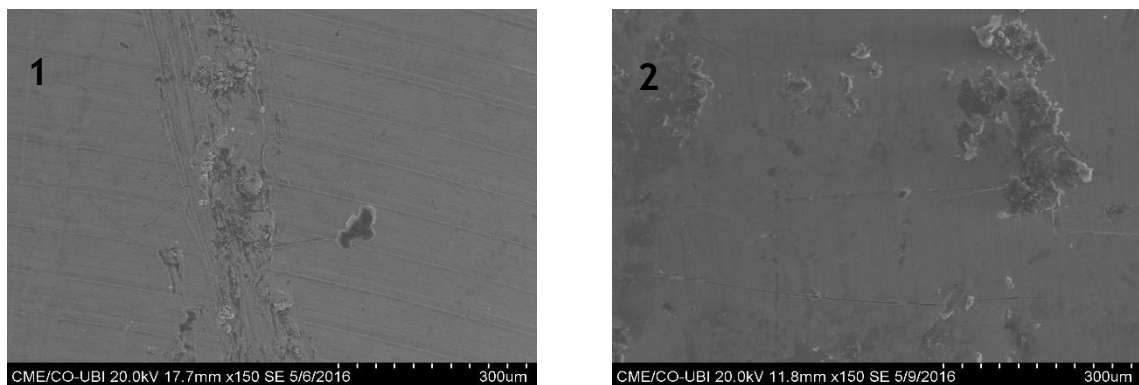


Figura 14 - Microestrutura da peça B no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

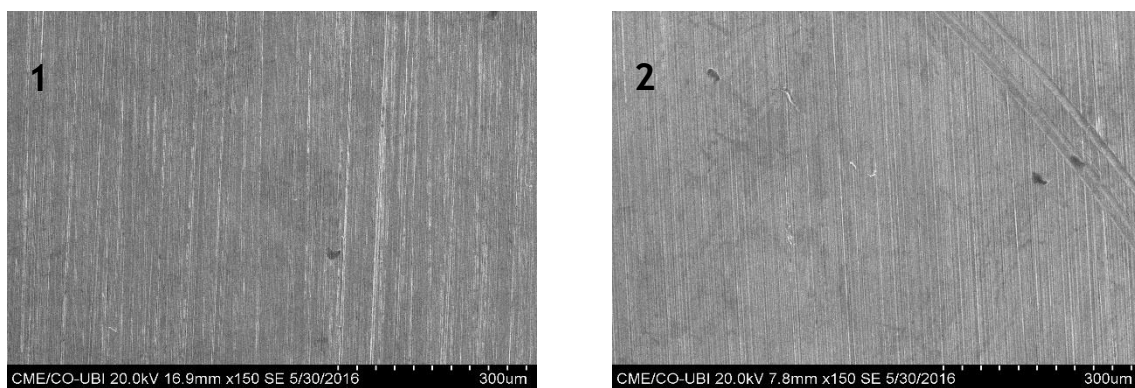


Figura 15 - Microestrutura da peça B no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

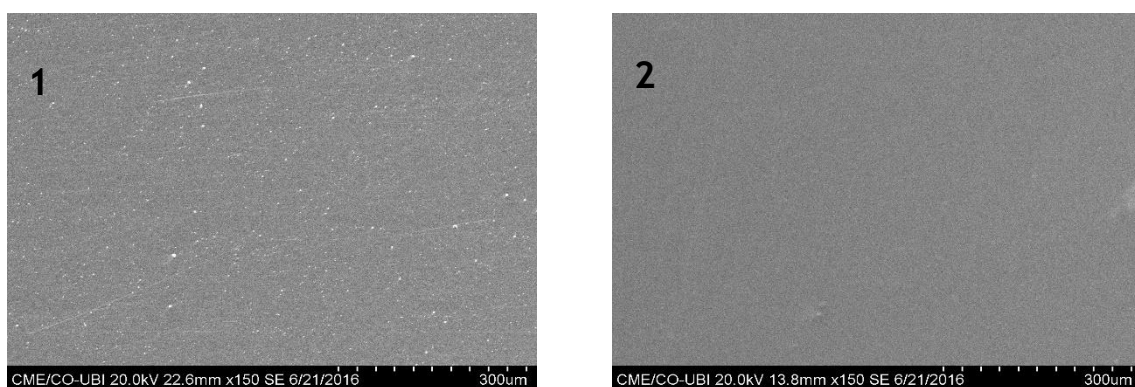


Figura 16 - Microestrutura da peça B no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

Através da análise obtida com recurso ao SEM, verifica-se que a região 1, devido a sofrer maior ação mecânica que a outra região assinalada, possui uma microestrutura superficial não tão uniforme e homogênea como na região 2, que é uma superfície plana.

Na figura 14 verifica-se que em ambas as regiões pequenos aglomerados de matéria na superfície da peça, por forma a identificar de que elementos são constituídos, foi realizada uma análise de mapeamento de constituintes, em que a cada constituinte foi atribuída uma cor aleatória.

Nas figuras 17, 18, 19 e 20 são ilustradas as distribuições dos elementos na superfície da peça na região 1.

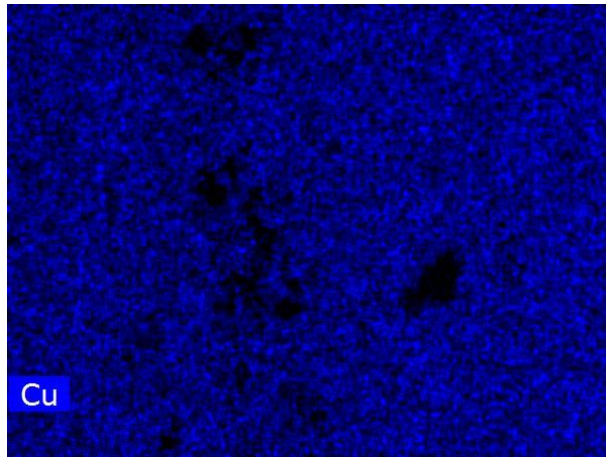


Figura 17 - Distribuição do cobre na superfície da região 1 da peça B no estado bruto.

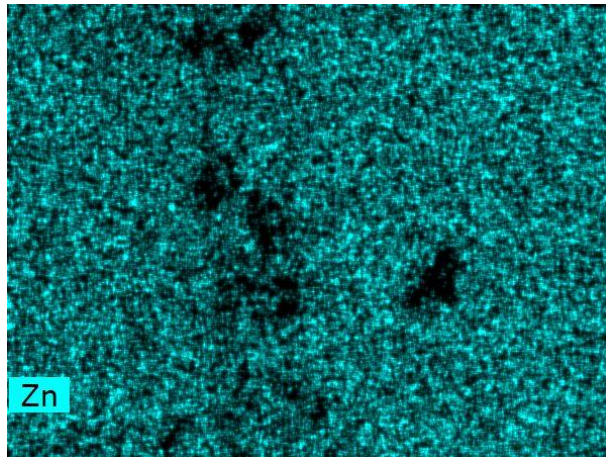


Figura 18 - Distribuição do zinco na superfície da região 1 da peça B no estado bruto.

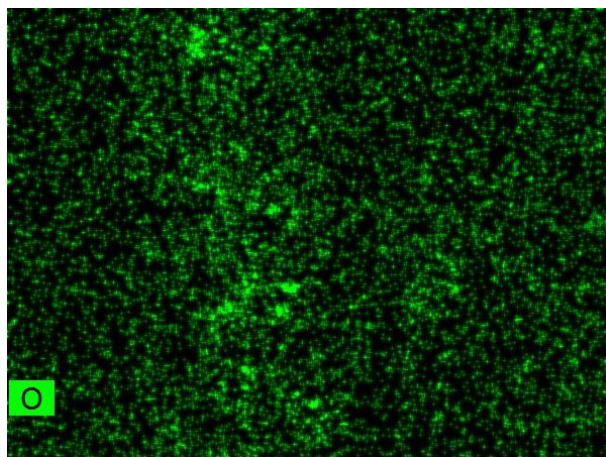


Figura 19 - Distribuição do oxigênio na superfície da região 1 da peça B no estado bruto.

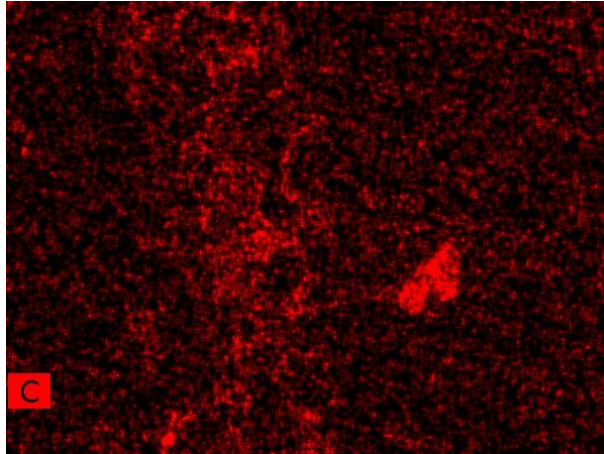


Figura 20 - Distribuição do carbono na superfície da região 1 da peça B no estado bruto.

Nas figuras 21, 22, 23 e 24 são ilustradas as distribuições dos elementos na superfície da peça na região 2.

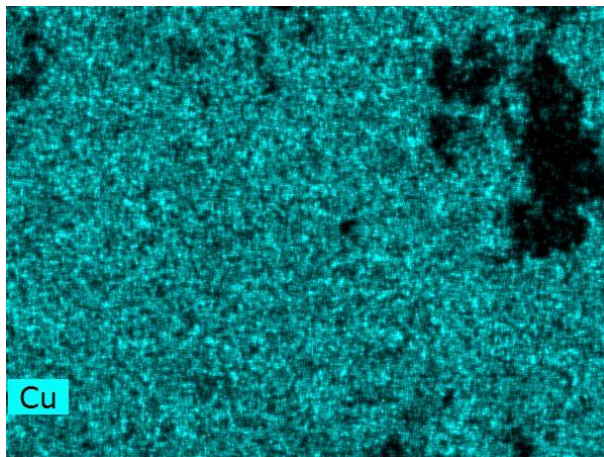


Figura 21 - Distribuição do cobre na superfície da região 2 da peça B no estado bruto.

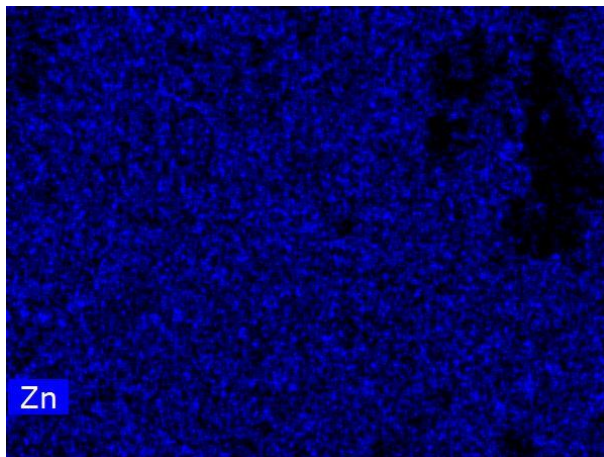


Figura 22 - Distribuição do zinco na superfície da região 2 da peça B no estado bruto.

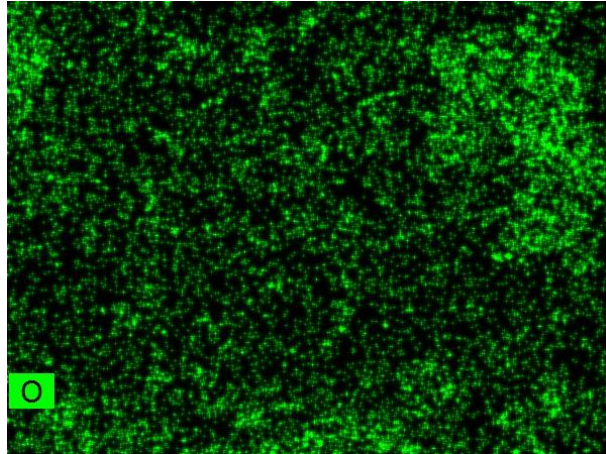


Figura 23 - Distribuição do oxigênio na superfície da região 2 da peça B no estado bruto.

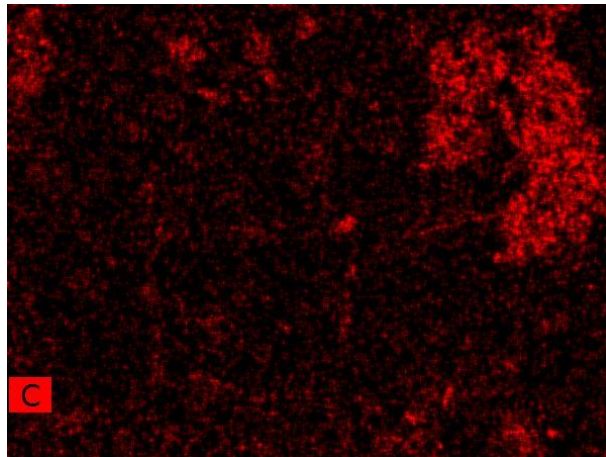


Figura 24 - Distribuição do carbono na superfície da região 2 da peça B no estado bruto.

Pelo mapeamento realizado e ilustrado anteriormente verifica-se que os aglomerados existentes na superfície da peça são resíduos orgânicos ali depositados, pois são constituídos por carbono e oxigênio, zonas de elevada intensidade de coloração nas figuras 19, 20, 23 e 24 (figuras referentes ao mapeamento do oxigênio e do carbono nas regiões 1 e 2 respetivamente), conclui-se, portanto, que estes resíduos em nada afetam a qualidade superficial da peça, pois ao longo das sucessivas etapas de polimento estes foram removidos com sucesso sem provocar danos no material.

## 6.2.4 Peça B - Composição química

Nas tabelas 6 e 7 será descrita a composição química da peça B, nas regiões 1 e 2, sendo que numa primeira fase serão incluídos todos os elementos presentes na amostra e posteriormente para efeitos concretos de estudo da qualidade do material da liga de latão os elementos principais, cobre e zinco, serão normalizados de acordo com as respetivas percentagens.

Tabela 6 - Composição na região 1 da peça B (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	42,61	2,07	48,50	2,40	41,48	2,08
Zinco	30,67	1,53	35,18	1,79	28,48	1,51
Carbono	20,68	5,15	13,84	3,99	25,65	7,67
Oxigénio	5	1,40	2,33	0,81	3,55	1,43
Alumínio	0,41	0,10	0,15	0,07	0,44	0,11
Ferro	0,28	0,07	-	-	0,40	0,10
Silício	0,25	0,08	-	-	-	-
Cloro	0,09	0,06	-	-	-	-
<b>Normalizado</b>						
Cobre	58,15		57,96		59,3	
Zinco	41,85		42,04		40,7	

Tabela 7 - Composição na região 2 da peça B (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	50,95	2,73	53,82	2,91	58,82	3,08
Zinco	23,07	1,29	31,46	1,75	34,16	1,85
Carbono	19,11	5,14	13,04	3,70	5,74	2,05
Oxigénio	6,23	1,77	1,54	0,57	1,18	0,50
Alumínio	0,08	0,06	0,14	0,07	0,10	0,07
Potássio	0,16	0,06	-	-	-	-
Silício	0,10	0,06	-	-	-	-
Cloro	0,11	0,06	-	-	-	-
Cálcio	0,17	0,07	-	-	-	-
<b>Normalizado</b>						
Cobre	68,8		63,11		63,3	
Zinco	31,2		36,89		36,7	

Denota-se também a presença de várias impurezas na peça no seu estado bruto, o que ao longo das sucessivas etapas de polimento, o seu teor de concentração tende a diminuir.

Embora o elemento ferro esteja presente, não ocorreu a formação de “pontos duros”, pois o seu teor de concentração na liga não excedeu os 0,20% (limite máximo aceitável de ferro livre no latão por forma a não ocorrerem possíveis “pontos duros”), em suma, a geometria mais complexa desta peça não introduz problemas significativos durante o tratamento de polimento, pois obteve-se uma superfície homogênea e de rugosidade reduzida.

### 6.2.5 Peça C - Análise no SEM

A peça C (igual à peça B, embora com uma coloração diferente na superfície) apresenta a seguinte microestrutura nas regiões 1 e 2 (representadas numericamente nas respectivas figuras), ao longo das etapas do processo, estado bruto (figura 25), lapidado (figura 26) e polido (figura 27).

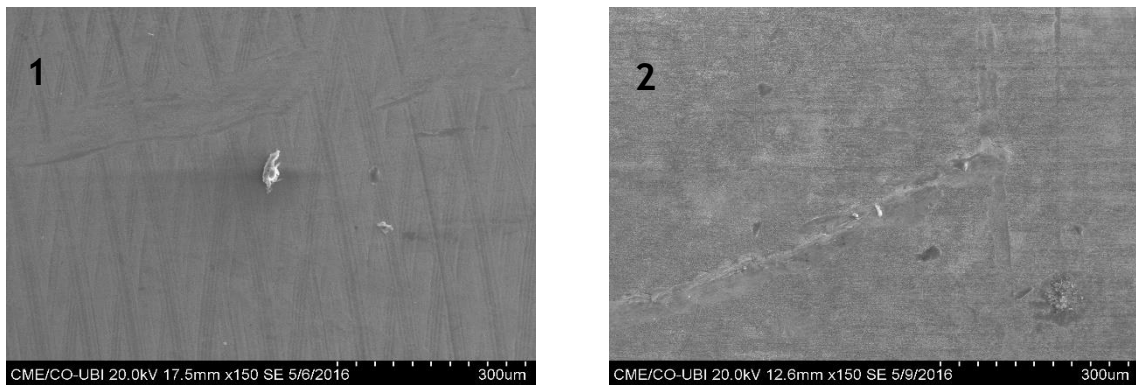


Figura 25 - Microestrutura da peça C no estado bruto nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

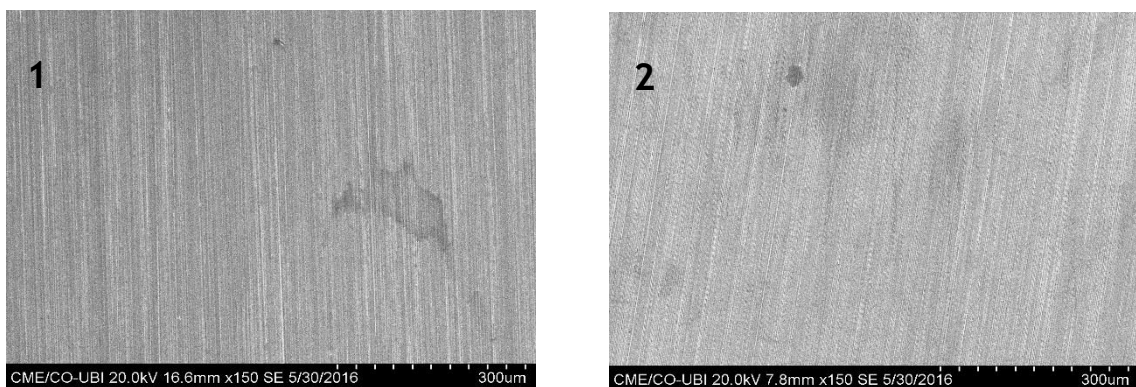


Figura 26 - Microestrutura da peça C no estado lapidado nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

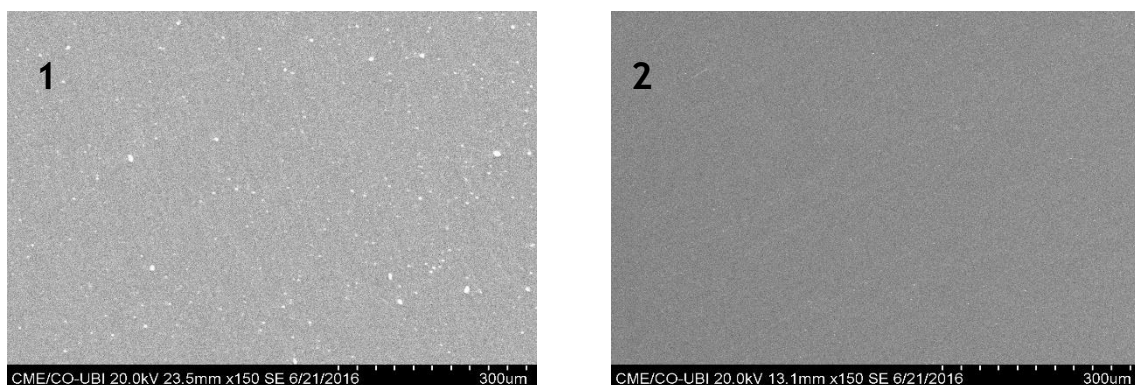


Figura 27 - Microestrutura da peça C no estado polido nas regiões 1 e 2, com ampliação de 150x.

Tal como na peça B e com a análise obtida com recurso ao SEM, verifica-se que a região 1, devido a sofrer maior ação mecânica (maior desgaste) que a região 2, possui uma microestrutura superficial não tão uniforme e homogênea como na região 2, que é uma superfície plana.

#### 6.2.6 Peça C - Composição química

Nas tabelas 8 e 9 será descrita a composição química da peça C, nas regiões 1 e 2, sendo que numa primeira fase serão incluídos todos os elementos presentes na amostra e posteriormente para efeitos concretos de estudo da qualidade do material da liga de latão os elementos principais, cobre e zinco, serão normalizados de acordo com as respetivas percentagens.

Tabela 8 - Composição na região 1 da peça C (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	70,51	5,24	50,72	2,67	41,92	1,91
Zinco	10,24	0,89	34,04	1,85	26,67	1,31
Carbono	7,61	4,37	11,77	3,71	27,15	7,41
Oxigénio	0,55	0,55	2,92	1	3,60	1,36
Alumínio	11,09	2,82	0,55	0,12	0,66	0,13
<b>Normalizado</b>						
Cobre	87,3		59,9		61,1	
Zinco	12,7		40,1		38,9	

Tabela 9 - Composição na região 2 da peça C (valores em percentagem mássica).

Elemento	Bruto (%)	Erro (%)	Lapidado (%)	Erro (%)	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	57,82	5,24	57,54	2,67	58,86	1,91
Zinco	17,98	0,89	33,61	1,85	34,69	1,31
Carbono	18,53	4,37	7,78	3,71	5,55	7,41
Oxigénio	5,38	0,55	1,07	1	0,90	1,36
Cloro	0,29	2,82	-	0,12	-	0,13
<b>Normalizado</b>						
Cobre	76,3		63,1		63	
Zinco	23,7		36,9		37	

Denota-se a presença na fase bruta da peça do elemento cloro, no entanto, derivado do seu reduzido teor de concentração em nada influenciou o tratamento do material.

A peça C apresentava uma cor avermelhada na sua superfície no estado bruto, isto deve-se ao fato do elevado teor de cobre existente na superfície, porém, depois das sucessivas etapas mecânicas de tratamento, verifica-se que essa anomalia é colmatada, pois os teores de cobre e zinco ficam normalizados.

Ultrapassado o defeito que apresentava a nível da composição química da microestrutura superficial da peça, conclui-se que nada de defeituoso existe no acabamento final desta peça pois obteve-se uma superfície homogénea e de rugosidade reduzida.

### 6.2.7 Peça D

A peça D, contrariamente às peças A, B e C, foi selecionada devido aos defeitos já apresentados quando acabada, verificando-se “buracos” na sua superfície, derivados do fenómeno de “pontos duros”.

Neste caso foi realizada apenas uma análise da composição química (ampliação de 750x) no estado polido (ver tabela 10) e análises no SEM com diferentes ampliações (ampliação de 150x é na região A e com ampliação de 750x é na região B) como ilustrado na figura 28.

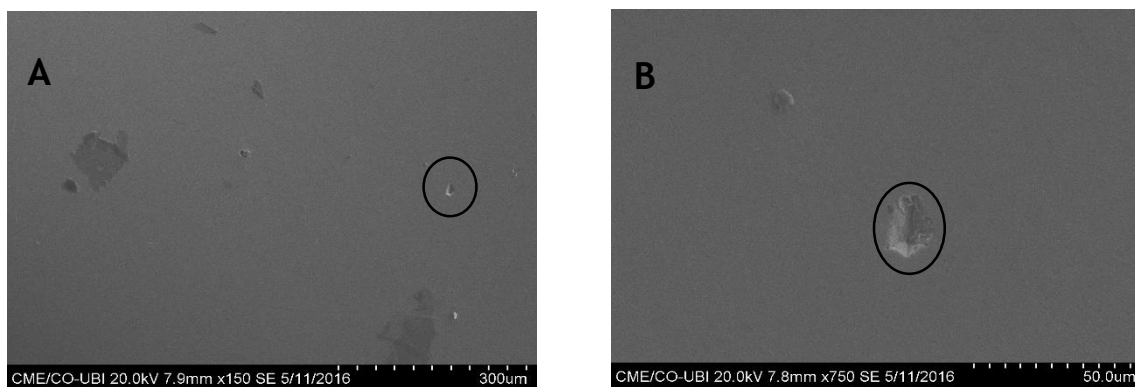


Figura 28 - Microestrutura da superfície da peça D no estado polido com ampliações de 150x (A) e 750x (B) respetivamente.

#### 6.2.7.1 Peça D - Composição química

Tabela 10 - Composição na região 1 da peça D (valores em percentagem mássica).

Elemento	Polido (%)	Erro (%)
Cobre	57,98	3,02
Zinco	32,52	1,80
Carbono	7,87	1,87
Oxigénio	1,51	0,50
Alumínio	0,14	0,07
Silício	0,10	0,06
<b>Normalizado</b>		
Cobre	64	
Zinco	36	

Através da análise realizada à peça D, verifica-se que a superfície é homogénea e de reduzida rugosidade, embora esteja presente o “buraco” (zona circundada pelo círculo preto) na superfície como visualizado na figura 28. Este defeito deve-se, como referido anteriormente, ao fenómeno dos “pontos duros”, ou seja, o “buraco” foi originado pelas inclusões metálicas ali inseridas e que depois das sucessivas etapas de polimento foram arrancadas do local.

Neste caso, denota-se a presença do elemento silício, o que, como referido anteriormente, tal como o ferro e o manganês, é causador do fenómeno de precipitados devido à sua reduzida solubilidade no cobre, portanto, pode afirmar-se que os poros originados nesta peça foi consequência da presença de silício na liga.

Porém, existe a possibilidade de desgastar mais a camada superficial da peça, tentando tornar a superfície completamente homogénea, no entanto, terá de se ter em conta a cota mínima

admitida pelo cliente, pois caso seja ultrapassada, a peça será considerada defeito, não podendo ser vendida, o que acarreta prejuízos para a empresa.

### 6.3 Rugosidade

Para medir a rugosidade da superfície das peças foi utilizado o rugosímetro *Hommel T 1000*. A análise da rugosidade da superfície ao longo das diferentes etapas do polimento permitiu observar a evolução da qualidade superficial das peças.

Os parâmetros analisados no rugosímetro foram os seguintes:

- $R_p$  - Este parâmetro indica o valor do pico mais alto da superfície;
- $R_a$  - Parâmetro indicador da rugosidade média da superfície.

Na figura 29 apresenta-se esquematicamente o significado dos dois parâmetros analisados.

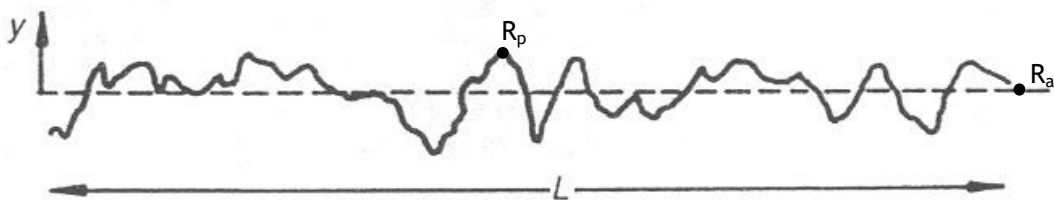


Figura 29 - Exemplo de um perfil de rugosidade (xxxx).

Quanto menor for o valor de  $R_a$  melhor será a qualidade superficial, pois quanto menos rugosa for a superfície menor o número de picos e de vales (este é um dos principais objetivos do polimento).

Nas figuras seguintes será ilustrada a rugosidade superficial das peças durante as várias etapas do processo de polimento. Como a peça A, B e C não apresentaram defeitos no acabamento final será demonstrado um exemplo da informação recolhida pelo rugosímetro *Hommel T 1000* ao longo das etapas (perfil de rugosidade), será utilizada como exemplo a peça A, e respetiva evolução ao longo das etapas de polimento do valor de  $R_a$ , no entanto, será demonstrado gráficamente a evolução da rugosidade média das restantes peças

Por outro lado, como a peça D apresentou defeitos no acabamento final será também demonstrado o perfil de rugosidade obtido nesta peça, por forma a avaliar e identificar os vales (representam os poros observados na superfície da peça) e os picos.

Com a análise do valor de  $R_a$  discute-se a sua evolução de forma a não comprometer a cota mínima aceite pelo cliente. Por fim, será ilustrada a evolução positiva e aceitável do  $R_a$  sem comprometer a cota mínima de trabalho admissível pelo cliente.

### 6.3.1 Peça A - Rugosidade

Nas figuras 30 e 31 será representado o perfil da rugosidade da peça A no estado bruto (estado em que chega à empresa).

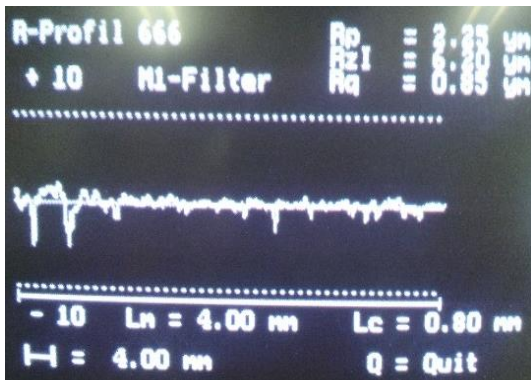


Figura 31 - Perfil da rugosidade da Peça A na região 1.

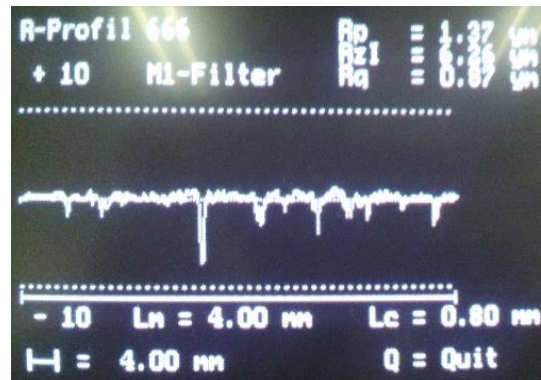


Figura 30 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2.

Das figuras 30 e 31 pode verificar-se o perfil da superfície da peça A na região 1 e 2, no estado bruto da peça, tendo-se obtido os seguintes valores:  $R_p = 2,25\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,56\mu\text{m}$  (região 1) e  $R_p = 1,37\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,58\mu\text{m}$  (região 2).

Nas figuras 32 e 33 será representado o perfil da rugosidade da peça A no estado lapidado.

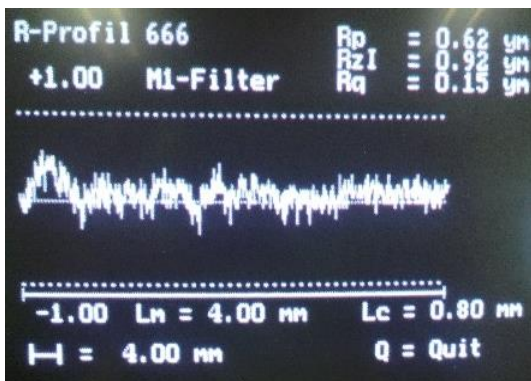


Figura 32 - Perfil de rugosidade da peça A na região 1.

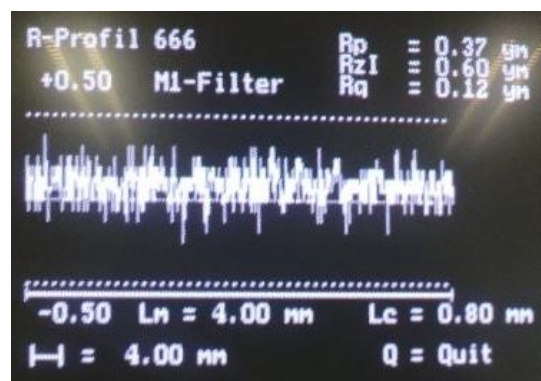


Figura 33 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2.

Das figuras 32 e 33 pode verificar-se o perfil da superfície da peça A na região 1 e 2, no estado lapidado, tendo-se obtido os seguintes valores:  $R_p = 0,62\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,12\mu\text{m}$  (região 1) e  $R_p = 0,37\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,10\mu\text{m}$  (região 2).

Nas figuras 34 e 35 será representado o perfil da rugosidade da peça A no estado polido.

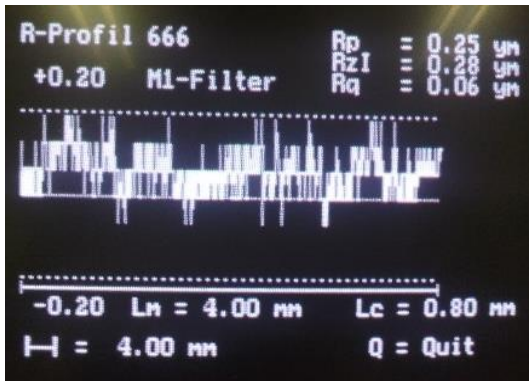


Figura 34 - Perfil de rugosidade da peça A na região 1.



Figura 35 - Perfil de rugosidade da peça A na região 2.

Das figuras 34 e 35 pode verificar-se o perfil da superfície da peça A na região 1 e 2, no estado polido, tendo-se obtido os seguintes valores:  $R_p = 0,25\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,06\mu\text{m}$  (região 1) e  $R_p = 0,25\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,07\mu\text{m}$  (região 2).

Nas figuras 36, 37 e 38 representa-se gráficamente a evolução da rugosidade média ao longo das diferentes etapas de polimento das peças A, B e C respetivamente.

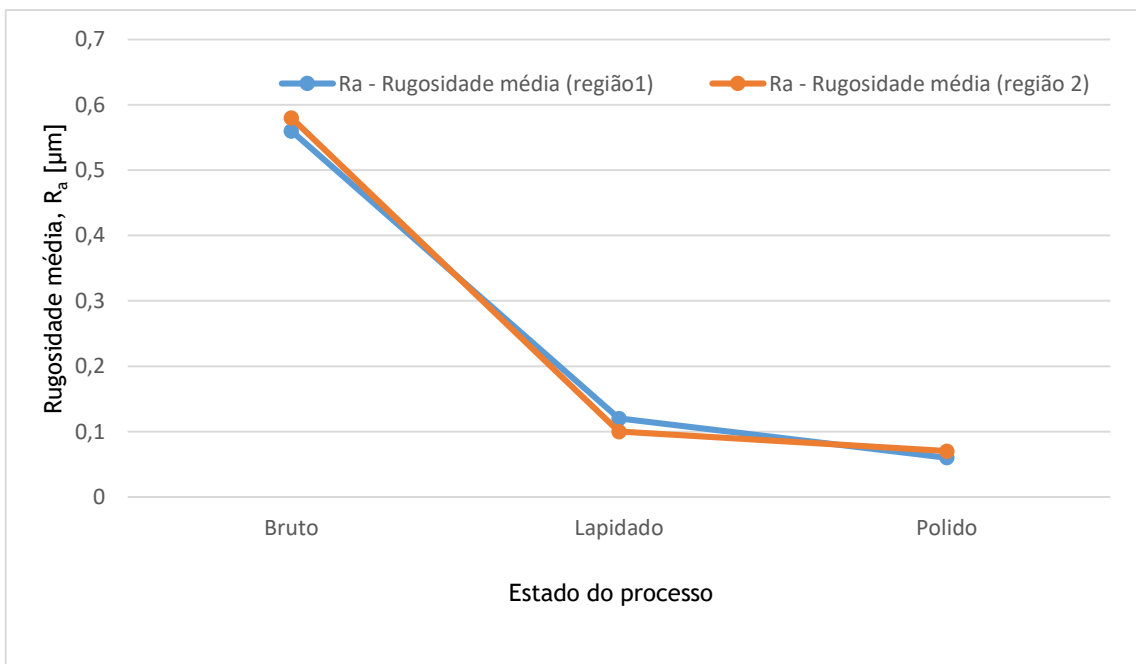


Figura 36 - Rugosidade média da superfície da peça A nas regiões 1 e 2.

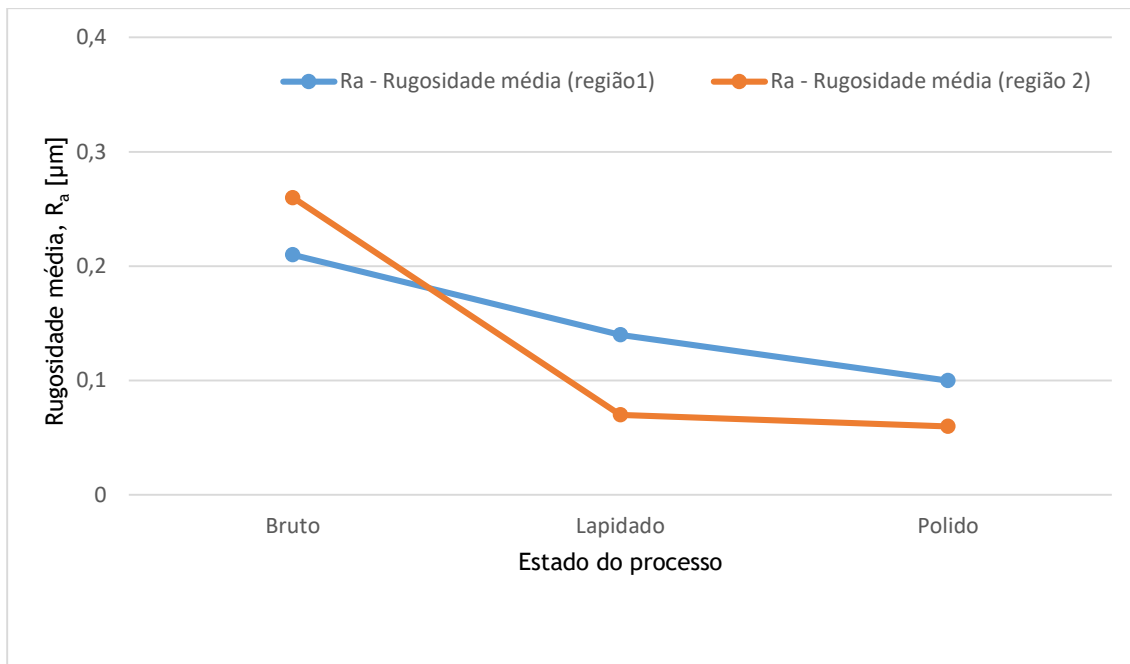


Figura 37 - Rugosidade média da superfície da peça B nas regiões 1 e 2.

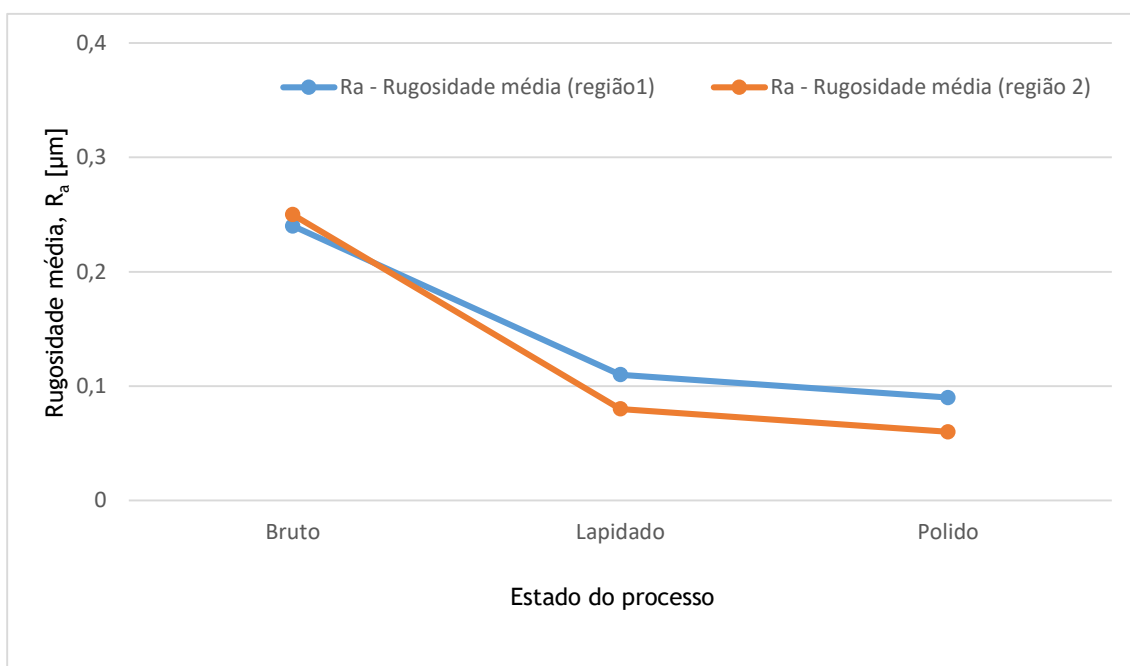


Figura 38 - Rugosidade média da superfície da peça C nas regiões 1 e 2.

### 6.3.2 Peça D - Rugosidade

Derivado à peça D já se encontrar polida apenas se realizou uma análise do perfil da rugosidade média da superfície, tal como demonstrado na figura 39.

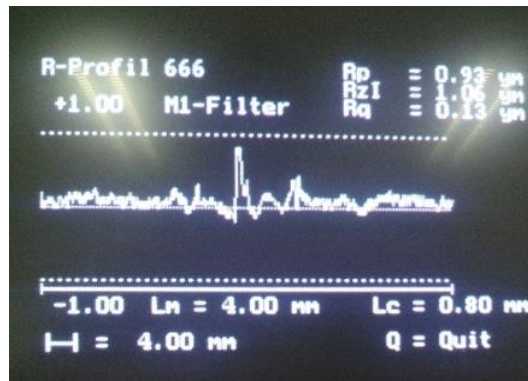


Figura 39 - Perfil de rugosidade da peça D na região 1.

Ainda que se tenha identificado poros (visíveis a olho nu) na superfície da peça, estes não estão visivelmente realçados pelo perfil de rugosidade obtido (embora se denote a existência de pequenos vales), no entanto, através da figura 39 verifica-se um pico bastante elevado em relação à rugosidade média, isto significa que existe alguma inclusão metálica, na qual, posteriormente, poderá originar outro poro na peça devido à sua remoção.

Portanto, através da figura 39 pode verificar-se o perfil da superfície da peça D na região 1, no estado polido, tendo-se obtido os seguintes valores:  $R_p = 0,93\mu\text{m}$  e  $R_a = 0,10\mu\text{m}$ .

Neste caso não se criou um gráfico de evolução pois não existem etapas diferentes, mas sim apenas um único valor para  $R_a$  final.

Com os valores obtidos de  $R_a$  pode afirmar-se que o polimento realizado pela empresa é de boa qualidade, cumprindo a principal finalidade de ter uma superfície de baixa rugosidade ( $\leq 0,10\mu\text{m}$ ).

Sendo o polimento um processo de desgaste das camadas superficiais, tendo um valor de  $R_p$  elevado não acarreta grandes problemas, pois com base na análise realizada verifica-se que esse valor decresce à medida que a peça é tratada, no entanto, caso existam fissuras ou buracos (originados pelo arranque de pontos duros), é necessário desgastar e retirar mais volume de material, podendo muitas das vezes sair fora da cota mínima admissível, tal fato é bastante desvantajoso para a empresa pois estas peças serão consideradas desperdício, o que leva a perdas no volume de vendas de produtos.



# 7. Conclusão

## 7.1 Considerações finais

Este trabalho teve origem no interesse da empresa F.P.L. em tentar perceber a razão pela qual surgiam defeitos ao longo das etapas de polimento das peças.

Com base nas análises realizadas à microestrutura superficial das peças com recurso ao SEM, pode concluir-se que o processo de polimento não introduz problemas superficiais. Na realidade a existência de problemas superficiais podem ter origem na composição do material ou durante a sua conformação. Mesmo polimentos sistemáticos, em regiões com acesso mais complexo, não originam alterações microestruturais visíveis por manchas. Portanto, nestes casos é aconselhável a existência de um pré-controlo do material antes de este entrar em produção, evitando assim desperdícios na empresa.

A análise dos perfis da rugosidade média superficial das peças é bastante interessante para este tipo de empresas, pois assim, consegue-se controlar ao pormenor se existem problemas nas diferentes etapas do polimento, podendo identificar a qualidade da superfície do material e do polimento realizado. Através da análise do valor de  $R_a$  (rugosidade média superficial) pode concluir-se que a empresa possui uma boa qualidade de polimento, isto porque uma rugosidade média de valores inferiores a  $0,10\mu\text{m}$  significa que o acabamento final da peça é de elevada qualidade e se encontra dentro das cotas admissíveis pelos clientes.

Em suma, conclui-se que uma das principais causas de possíveis defeitos existentes na superfície das peças, deve-se essencialmente ao processo de fabricação das peças (interferência na qualidade da superfície do material), seja pelos parâmetros de fundição mal calculados, por impurezas incorporadas no processo de vazamento e/ou ferramentas de corte, ou até mesmo um ineficaz controlo no processo de solidificação da liga de latão, deste modo, para que exista uma boa qualidade superficial dos produtos é fundamental que o material da liga utilizada seja também de elevada qualidade e rigor em relação aos teores de elementos adicionados, propositadamente ou não, à liga mãe.

## 7.2 Propostas de trabalhos futuros

Devido ao estágio curricular realizado na empresa um maior conhecimento sobre determinadas matérias envolventes neste tipo de indústria tornou-se maior, o que levou a propostas de trabalho futuros essenciais para empresa, destacando-se os seguintes:

- Análise dos parâmetros de “lavagem” - Esta etapa é fundamental para o acabamento final da peça por retirar os resíduos existentes na superfície da peça resultantes das etapas de polimento, sendo assim, é essencial que esta etapa seja controlada com rigor e com os devidos parâmetros de acordo com o tipo de material a ser lavado;
- Análise da influência de processos de fabrico que envolvam outras variáveis, como por exemplo, a soldadura de componentes das peças, pois esta ação promove o aquecimento localizado, podendo existir alterações nas fases da microestrutura superficial do material;
- Análise da rugosidade em determinadas áreas através do registo da topografia da superfície - microscopia de força atômica, este tipo de análise da rugosidade superficial é mais rigoroso que a rugosidade obtida através do rugosímetro tradicional.

### **7.3 Trabalhos realizados na empresa**

Este estágio curricular baseou-se na presença de 24 horas semanais na empresa com o intuito de ser interiorizado a essência de trabalho e cultura na mesma, bem como se desenvolve todo este processo na indústria dos produtos de luxo.

Como tal, foram realizados alguns trabalhos em paralelo para a empresa, destacando-se os seguintes:

- Controlo da produção diária por parte dos colaboradores;
- Gestão de dados técnicos da empresa;
- Gestão do setor de gravação;
- Gestão do setor de lavagem das peças.

De salientar por fim, que devido ao empenho demonstrado e trabalho realizado, está em ativo um contrato de trabalho entre o autor e a empresa com o objetivo de otimizar e melhorar o planeamento, organização e produção da F.P.L.

## Referências

- [1] William F. Smith, Structure and properties of engineering alloys, 2<sup>nd</sup> ed. MC Graw - Hill series in material and engineering, 1993;
- [2] HAROLD, T.; Cooper Development ASSN, Inc, New York
- [3] LUCY, M. “Chemically enhanced synergistic wear: A copper chemical mechanical polishing case study”, 2013.
- [4] Euristo - Estudos, projetos e consultoria, S.A, Manual de boas práticas, 1<sup>a</sup> ed. Leça da Palmeira: AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2011.
- [5] LEE, S. et al. “Effect of thermomechanical on grain boundary characteristics in two-phase brass”, Material and Science Engineering, 2003.
- [6] PUGACHEVA, N., “Structure of commercial  $\alpha + \beta$  brasses”, Metal Science and Heat Treatment, 2007.
- [7] DAVIS, J., “Copper and copper alloys”, ASM International, 2001.
- [8] BOETTINGER, W. et al. “Solidification microstructures: Recent development, future directions”, Acta Materialia, 2000.
- [9] BOWLEY, M., “Casting copper base alloys”, American Foundrymen’s Society, 1984.
- [10] Totalmateria. (Consultado em: 21 de setembro de 2016). Disponível: URL: <http://www.totalmateria.com/materials>
- [11] JUNQUEIRA, J. “Análise térmica diferencial - Aplicação na determinação das propriedades dos latões”, Fundação, 2007.
- [12] CORRÊA, et al. “The effect tension/torsion stain path changes on the work hardening of Cu-Zn brass”, Materials Processing Technology, 2002.
- [13] SADAYAPPAN, M. et al. “Grain refinement of permanente mold cast copper base alloys”, US Department of Energy, 2004.
- [14] HARUHIKO, A et al. “High strength, lead free machinable - duplex phase brass Cu-Zn-Cr-Fe-Sn-Bi alloys”, Material Science and engineering, 2011.

[15] SEUNGMAN, S.; KANG, T., “The effects of tin and nickel on the corrosion behaviour of 60Cu-40Zn alloys”, Journal of alloys and compounds, 2002.

[16] KARPACAVALLI, R.; BALASUBRAMANIAM, R., “Influence of arsenic, antimony and phosphorous on the microstructure and corrosion behaviour of brasses”, Springer Science Media, 2007.

[17] DAVIES, D. “A note on the dezincification of brass and the inhibiting effect of elemental additions”, Copper Development Association, 1993.

[18] KEAST, J. “Compositional distribution in classical and lead free brasses”, Material characterization, 2006.

[19] BURKISOVA, V. et al. “Creep behaviour of leaded brasses”, Material science and engineering, 2002.

[20] XIAO, L. et al. “Microstructure and properties of unleaded free cutting brass containing stibium”, Science press, 2007.

[21] Sistema de gestão ambiental. (consultado em: 1 de outubro). Disponível: URL: <http://www.sgs.pt/pt.PT>

[22] Norma EN ISO 6509 “Corrosion of metals and alloys - Determination of dezincification resistance of brass”, 1995.

[22] Production Machining. (consultado em 25 de agosto de 2016). Disponível: URL: <http://www.productionmachining.com/articles/adjusting-to-unleaded>

[23] Production Machining. (consultado em 25 de agosto de 2016). Disponível: URL: <http://www.productionmachining.com/articles/the-transition-to-no-lead-brass>

[24] MOREIRA, P., “Desenvolvimento de ligas de latão de baixo teor de chumbo”, Universidade do Porto, 2010.

[25] MATESO, V., “Análise da solidificação para o projeto de molde e a relação com as propriedades mecânicas na fundição da liga de latão 60:40”, 2006.

[26] REBELO, F., “Ergonomia no dia a dia”, Silabo, 2004.

[27] Melo M., “Potencialidades da análise ergonômica do trabalho na construção de uma prevenção integrada e participada”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.